

**ROSELI FROTA DE MORAES SALLES**

**CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NAS FOLHAS E METAIS  
PESADOS NOS FRUTOS DE MACIEIRA (*Malus domestica* Borkh.) EM  
FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTOS**

Curitiba – 1998

**ROSELI FROTA DE MORAES SALLES**

**CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NAS FOLHAS E METAIS  
PESADOS NOS FRUTOS DE MACIEIRA (*Malus domestica* Borkh.) EM  
FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTOS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências.

**Orientador:**

Prof. Dr. Flávio Zanette

**Coorientadores:**

Prof. M. Sc. Cícero Deschamps

Prof. M. Sc. João Carlos Possamai

Curitiba - 1998



## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal do Paraná, especialmente à Coordenação do Curso de Produção Vegetal do Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, pela oportunidade para a realização do Mestrado.

Ao Prof. Dr. Flávio Zanette, pela orientação na execução e elaboração desta obra.

Ao Prof. Dr. Luiz Doni Filho, pela forma com que me acolheu permitindo a possibilidade de realização do Mestrado.

Ao Prof. Cícero Deschamps, pela co-orientação, amizade e incentivo durante todo o percurso do trabalho.

Ao Prof. João Carlos Possamai, pela dedicação na co-orientação, desde o planejamento da instalação do experimento, bem como pela segurança das análises realizadas.

À Prof<sup>a</sup>. Nerilde Favaretto, que pela sua capacidade profissional e amizade, em muito contribuiu para esta obra.

À Prof<sup>a</sup>. Dra. Beatriz Monte Serrat Prevedello, pelas sugestões tão seguras e pela permissão do uso do Laboratório de Análises de Plantas, sem a qual não seria possível a realização das análises foliares.

Aos Professores integrantes da Banca Examinadora de Pré-Defesa Luiz Antonio Biasi, Ruy Inácio N. de Carvalho, Luiz A. C. Lucchesi e Luciméris Ruaro Schuta.

Aos Professores da Pós Graduação que contribuíram com seus ensinamentos e amizade.

Às Professoras Fernanda Rita Zambom, Gianna Maria Cirio e Luciméris Ruaro Schuta, pelas contribuições e amizade.

À todos os colegas do Curso de Pós-Graduação do Setor de Ciências Agrárias, em especial aos amigos Juana Beatriz C. Almada, Luciene M. Moreira, Andrea A. Weckerlin Krefta, Clíciea M. Ferreira, Luis Alberto Koslowski, Flora Osaki, Cristina Barsik e Gizelda Maia Rêgo, pelo carinho, dedicação e amizade que muito apoiaram minha pessoa durante toda a realização deste trabalho.

Ao meu cunhado Osni Roberto Caron Filho, pelo incentivo e conhecimentos transmitidos.

A todos os funcionários do Depto. de Fitotecnia e Fitossanitarismo e Depto. de Solos, que de forma direta ou indireta contribuíram para a execução do trabalho, em especial à Célia, Lucimara, Aldair e Regina.

Aos funcionários da Fazenda da Estação Experimental Canguiri, Sr. Ângelo, Sérgio e Sr. Rainieri, pela prestação de serviços.

Às funcionárias da Biblioteca do Setor de Ciências Agrárias, em especial à bibliotecária Marcia Regina Wellner pela orientação segura das normas de digitação da UFPR.

Ao Sr. Valdori Mendes, pela contribuição das mudas de macieira.

À Deus, Pai para todas as horas de desestímulo e esperança...

#### AGRADEÇO

A Ruy Frota Salles, grande exemplo de pai e homem, que deixou como herança todos os princípios morais e éticos para o sucesso de um bom profissional...

#### OFEREÇO

Ao meu marido Luiz Felipe Caron,  
por todo seu amor, paciência e estímulo presentes em todas as horas...

À minha mãe Thereza, e aos irmãos Rubens, Renata (Marcos e Felipe) e Regina (Manoel e Thiago), pelo apoio e carinho em todos esses anos...

Ao fruto de um grande amor que será recebido,  
muito em breve, com muito carinho... Gabriel

#### DEDICO

## SUMÁRIO

|   |             |
|---|-------------|
| <b>LISTA DE TABELAS.....</b>                                | <b>vi</b>   |
| <b>LISTA DE FIGURAS.....</b>                                | <b>vi</b>   |
| <b>RESUMO.....</b>  | <b>vii</b>  |
| <b>ABSTRACT.....</b>  | <b>viii</b> |
| <b>1 INTRODUÇÃO.....</b>                                    | <b>01</b>   |
| <b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>                         | <b>04</b>   |
| 2.1 EFEITO DA APLICAÇÃO LODO DE ESGOTOS NA AGRICULTURA..... | 04          |
| 2.2 EFEITO DO LODO DE ESGOTOS EM CULTURAS PERENES.....      | 05          |
| 2.2.1 Efeito do lodo de esgotos na cultura da macieira..... | 06          |
| 2.3 INTERFERÊNCIA DOS METAIS PESADOS .....                  | 07          |
| 2.4 INTERFERÊNCIA DOS TEORES DE NUTRIENTES .....            | 15          |
| <b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>                            | <b>22</b>   |
| 3.1 LOCAL DOS EXPERIMENTOS.....                             | 22          |
| 3.2 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DO LOCAL.....                  | 22          |
| 3.3 CARACTERIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTOS.....                  | 23          |
| 3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS.....                    | 24          |
| 3.4.1 Experimento em macieiras de quatro anos.....          | 24          |
| 3.4.2 Experimento com mudas de macieira.....                | 28          |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>                        | <b>31</b>   |
| 4.1 POMAR DE MACIEIRAS DE QUATRO ANOS.....                  | 31          |
| 4.1.1 Teores Foliares de Macronutrientes.....               | 31          |
| 4.1.2 Teores Foliares de Micronutrientes.....               | 32          |
| 4.1.3 Teores de Metais Pesados nos Frutos.....              | 34          |
| 4.2 MUDAS DE MACIEIRA.....                                  | 35          |
| 4.2.1 Teores Foliares de Macronutrientes.....               | 36          |
| 4.2.2 Teores Foliares de Micronutrientes.....               | 37          |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>5 CONCLUSÕES.....</b>                 | <b>41</b> |
| <b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b> | <b>42</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>                       | <b>49</b> |

## **LISTA DE TABELAS**

|   |  |    |
|---|--|----|
| 1 | TEORES DE N, P, K E METAIS PESADOS, DETECTADOS NO LOTE DE LODO DE ESGOTOS CEDIDO PELA SANEPAR, UTILIZADO NO EXPERIMENTO..... | 23 |
| 2 | TEORES MÉDIOS DETECTADOS EM AMOSTRAS DE SOLO RETIRADAS NAS PROFUNDIDADES DE 0-20 CM E 20-40 CM, NA ÁREA DO EXPERIMENTO.....  | 25 |
| 3 | DOSES DE ADUBO MINERAL OU ORGÂNICO APLICADAS EM CADA PLANTA, DE ACORDO COM OS TRATAMENTOS ESTABELECIDOS.....                 | 26 |
| 4 | DOSES DE ADUBO MINERAL OU ORGÂNICO APLICADAS EM CADA COVA DE PLANTIO DE MUDAS, DE ACORDO COM OS TRATAMENTOS UTILIZADOS.....  | 29 |

## **LISTA DE FIGURAS**

|   |  |    |
|---|--|----|
| 1 | TEORES FOLIARES MÉDIOS DE MACRONUTRIENTES DE POMAR DE MACIEIRA DE QUATRO ANOS (GALA/MM-106) .....          | 31 |
| 2 | TEORES FOLIARES MÉDIOS DE MICRONUTRIENTES DE POMAR DE MACIEIRA DE QUATRO ANOS (GALA/MM-106).....           | 33 |
| 3 | TEORES MÉDIOS DE METAIS PESADOS EM FRUTOS COLETADOS DO POMAR DE MACIEIRA DE QUATRO ANOS (GALA/MM-106)..... | 35 |



|    |  |
|----|--|
| 4  | TEORES FOLIARES MÉDIOS DE MACRONUTRIENTES EM<br>MUDAS DE MACIEIRA (GALA/MM-106)..... |
| 36 |  |
| 5  | TEORES FOLIARES MÉDIOS DE MICRONUTRIENTES EM<br>MUDAS DE MACIEIRA (GALA/MM-106)..... |
| 38 |  |

## RESUMO

Atualmente, o lodo de esgotos vem sendo amplamente avaliado para sua possível utilização no Estado do Paraná. Sua utilização como fertilizante orgânico já é uma prática bem difundida em outros países, porém no Brasil requer maiores estudos devido aos diversos impactos ambientais no que se refere às características físicas, químicas e biológicas de solos fertilizados com este subproduto. Diante desta perspectiva, este trabalho visou avaliar o efeito imediato e residual do lodo de esgoto como fertilizante orgânico na cultura da macieira (*Malus domestica*), determinando os teores de metais pesados nos frutos, bem como os teores de macro e micronutrientes foliares. O experimento envolveu a aplicação do lodo em mudas de macieira na cova de plantio e em cobertura em pomares com quatro anos de idade, na Fazenda Experimental do Canguiri da UFPR, no município de Pinhais (PR), avaliando-se os efeitos desta adubação. Foram utilizados seis tratamentos com cinco repetições para implantação das mudas, e seis tratamentos com seis repetições para o pomar de quatro anos, sendo que cada repetição constituiu-se de oito plantas adultas ou cinco mudas de macieira, ambas da cultivar Gala enxertadas sobre a cultivar MM-106. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso e os dados foram analisados e interpretados estatisticamente pelo teste de comparação de médias, teste de Tukey a 99% de probabilidade. As doses de lodo variaram de 0, 25, 50, 75 e 100% em relação à adubação mineral nitrogenada recomendada, complementadas com adubos minerais (pomar de quatro anos, nas dosagens de 76,9; 57,7; 38,5 e 19,2 kg de lodo de esgotos por planta) e ou esterco de carneiro (mudas, aplicando-se 20, 15, 10 e 5kg de esterco, e ou 5,13; 10,25; 15,40 e 20,51kg de lodo de esgotos por cova), e a testemunha sem adubação. Após a discussão dos resultados, pôde-se concluir que os teores foliares de macro (N, P, Ca e Mg) e micronutrientes (Zn, Cu, Mn, Fe e B) não foram afetados pelos tratamentos à base de lodo de esgotos, em ambos experimentos, exceto para o elemento K analisado em folhas do pomar de quatro anos, onde os tratamentos à base de 57,7 e 76,9 kg de lodo por planta foram significativamente superiores à testemunha; os resíduos de metais pesados detectados nos frutos foram considerados estatisticamente iguais à testemunha.

## ABSTRACT

Nowadays, the sewage sludge comes being evaluated thoroughly for its possible use in the State of Paraná. Its use as organic fertilizer is already a practice very diffused at another countries, even so in Brazil it requests larger studies due to the several environmental impacts in what it refers to the physical characteristics, chemistries and biological of soils fertilized with this sub-product. Before this perspective, this work sought to evaluate the immediate and residual effect of the sewage sludge as na organic fertilizer in the apple trees (*Malus domestica*), determining the texts of heavy metals in the fruits, as well as the macro texts and micronutrients foliate. The experiment involved the application of the sewage sludge in sprout implanting in the plantation hole and in covered orchards with four years of age, in UFPR Experimental Farm Canguiri, in the municipal district of Pinhais (PR), being evaluated the effects of this fertilization. Six treatments were used with five repetitions for the sprout implanting, and six treatments with six repetitions for the four-old orchard, and each repetition was constituted of eight adult plants or five sprout of apple tree, both of the Gala variety grafted on to cultivate MM-106. The experimental delineation was the blocks to the maybe and the data were analyzed and interpreted estatisticaly with the comparison of averages test, test of Tukey at 99% of probability. The sewage sludge doses varied of 0, 25, 50, 75 and 100% in relation to the nitrogen mineral fertilization recommended, complemented with mineral fertilizers (four year-old orchard, in the dosation of 76,9; 57,7; 38,5 and 19,2 kg of sewage sludge per plant) and or sheep manure (sprout, being applied 20, 15, 10 and 5 kg of manure, and or 5,13; 10,25; 15,40 and 20,51 kg of sewage sludge per hole), and the witness without fertilization. After the discussion of the results, it could be concluded that the foliate texts of macro (N, P, Ca and Mg) and micronutrients (Zn, Cu, Mn, Fe and B) they were not affected for the treatments to the base of sewage sludge, in both experiments, except for the K element analyzed in leaves of the four year-old orchard, where the treatments based of 57,7 and 76,9kg sewage sludge per plant went significantly superiors to the witness; the residues of heavy metals detected in the fruits were estatisticaly considered the same to the witness.

## 1 INTRODUÇÃO

O tratamento de dejetos domésticos e industriais das grandes cidades resulta em um volume muito grande de subprodutos, que causam um dos mais relevantes problemas da nossa atualidade, no Brasil e no mundo: o lodo de esgotos.

As alternativas possíveis para o destino final do lodo de esgotos são a sua utilização como fertilizante orgânico para determinadas culturas quando aplicado no solo, incineração do material, aterros sanitários exclusivos e despejo oceânico, sendo esta última metodologia proibida em alguns países. De todas as alternativas apresentadas, a incineração do lodo de esgotos é uma proposta pouco viável, uma vez que tal processo acarreta em custos muito altos, além do que o volume a ser tratado é grande, o que justifica o descarte desta possibilidade no Brasil.

Aterros sanitários exclusivos são outra alternativa que limita tal procedimento, tanto em termos de espaço, como considerando efeitos de impacto ambiental causados por acúmulo de grande volume do material ao longo do tempo, além dos problemas sérios causados pela presença de inúmeros patógenos, como bactérias, vírus, helmintos e protozoários. Dependendo da origem do lodo, tem-se ainda a presença de metais pesados e seus impactos de acúmulo em todo o ecossistema.

O despejo do lodo de esgotos em alto mar é outra alternativa a ser considerada, embora os problemas acarretados por tal prática tornam esta alternativa problemática. O custo e a forma como é realizado, o transporte do material a ser depositado nos mares, o impacto que este material pode causar na fauna e flora marinha e outras consequências maiores,

inviabilizam essa possibilidade, ao ponto de alguns países já estabelecerem normas proibindo a utilização desta prática, a exemplo dos EUA.

Nos países desenvolvidos, o custo da destinação final dos lodos de esgotos pode chegar a 40% dos custos de operação das estações de tratamento (MARTINS e SANCHES, 1983). Com a utilização do lodo como fertilizante orgânico em algumas culturas, tem-se uma solução de destino do material de forma racional, de custo relativamente baixo e de pequeno risco de impacto ambiental, comparada com as demais alternativas.

Desta forma, a reciclagem do lodo de esgotos na agricultura na forma de adubação orgânica pode ser uma das melhores e mais eficazes alternativas da utilização do material, desde que realizada com bases em critérios previamente estabelecidos pela pesquisa, normas e leis referentes ao uso e possíveis conseqüências de danos gerados pelo não cumprimento destas normas.

Uma das limitações da utilização do lodo de esgotos é a presença de patógenos, embora não haja casuística relacionando processos infecciosos resultantes da aplicação de lodos contaminados no solo. Há relatos da presença de vírus, bactérias patogênicas, fungos, cistos de protozoários e ovos de helmintos em lodo de esgotos, inclusive em lodo digerido, que pode apresentar elevada resistência aos processos de tratamento e persistir durante longos períodos no solo (BURGE et al., 1981). O tipo e o número de organismos patogênicos presentes no lodo se dão em função da natureza do esgoto, da população atendida, do tipo de tratamento do esgoto e do lodo gerado. Bactérias e vírus ficam adsorvidos junto às partículas sólidas e tendem a co-precipitar durante a fase de decantação no sistema de tratamento de esgoto, concentrando-se no lodo. De forma similar, parasitas como helmintos e protozoários, e seus ovos, também se concentram no lodo devido aos respectivos pesos específicos.

Diante de todas as alternativas citadas e verificando-se a viabilidade de aplicação de cada uma delas, para a melhor alternativa como solução para o uso do lodo de esgotos deve

envolver desde fatores econômicos, aspectos nutricionais das plantas, bem como aspectos sanitários e de agentes contaminantes que são os metais pesados. Uma alternativa aparentemente viável é a utilização do lodo de esgotos aplicado ao solo como fonte de adubação orgânica, levando-se em conta a cultura a ser implantada, bem como a origem deste lodo, dando-se sempre preferência ao lodo originado de resíduos domésticos pela sua baixa concentração de metais pesados.

Uma vez que o lodo de esgotos contém elementos considerados macro e micronutrientes e metais pesados em sua composição, então poderão ocorrer diferentes níveis desses elementos, em função da quantidade de lodo fornecida e da idade da cultura considerada, tanto nas folhas como nos frutos de macieira, porque estas diferentes doses de lodo poderão se refletir na absorção e translocação desses elementos dentro da planta.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação do lodo de esgotos como fertilizante orgânico em plantas de macieira, avaliando-se os teores de metais pesados acumulados nos frutos e de nutrientes minerais nas folhas da planta, bem como avaliar os teores de macro e micronutrientes como resultado desta prática.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Para ser devidamente utilizado na agricultura, o lodo de esgotos deve ser previamente analisado, por ser um material muito heterogêneo, pois sua composição depende de vários fatores. Sua prática agronômica obrigatoriamente deve obedecer aos limites da legislação, para prevenir uma possível poluição do solo e evitar outros riscos envolvendo acúmulo de substâncias tóxicas que possam ser ingeridas na alimentação (ROVIRA et al., 1996).

Os efeitos potenciais adversos provenientes da aplicação do lodo de esgotos no solo, como contaminação por patógenos, metais pesados, componentes organo-sintéticos e poluentes de nitrato e fosfato foram considerados por CHAIBVA (1993). As pesquisas realizadas mostraram que o lodo, quando foi adequadamente aplicado, não provocou nenhum problema.

### 2.1 EFEITO DA APLICAÇÃO DO LODO DE ESGOTOS NA AGRICULTURA

Os fertilizantes minerais e adubos orgânicos são utilizados na agricultura para aumentar a produtividade das culturas, enquanto que o lodo de esgotos (subproduto do tratamento do esgoto urbano), lixo urbano (restos de alimentos e resíduos orgânicos) e resíduos industriais, têm sido aplicados no solo na impossibilidade de um destino mais adequado para estes materiais (MIYAZAWA, 1997). O lodo de esgotos e o lixo urbano podem fornecer macronutrientes e matéria orgânica para as plantas.

No estado de Kingdon (EUA) há um grande potencial para utilização de lodo na correção de solos. Em 1974, avaliações realizadas mostraram que dentre 43.000 ha das terras abandonadas, apenas 3.300 ha necessitavam de correção. Cerca de 7% do lodo anualmente produzido neste estado (equivalente a 6.000 t de matéria seca) foi usado em correções de solo no ano de 1975 (SOPPER, 1993).

## 2.2 EFEITO DO LODO DE ESGOTOS EM CULTURAS PERENES

Um estudo conduzido por HENRY et al. (1993) durante 20 anos objetivou aumentar a produtividade em alguns solos de floresta de Washington (USA), utilizando lodo de esgoto municipal (biossólidos), de polpa e de papel para aumentar o estado nutricional ou enriquecer solos pobres em matéria orgânica. O lodo foi aplicado em uma população de pinho, observando-se o estabelecimento de plântulas. O tratamento com o lodo de esgoto municipal proporcionou um aumento na altura das plantas analisadas. A resposta à aplicação do lodo de polpa e de papel permitiu um excelente resultado no crescimento de três espécies florestais. Assim sendo, além de permitir uma resposta tipicamente maior que as dadas por adubos químicos, permitiu também um aumento na produtividade.

MATHIAS et al. (1979) e HINESLY et al. (1982) observaram um decréscimo na produção de diversas árvores que se desenvolveram sob aplicação de lodo, na primeira época de avaliação. A colheita se deu anualmente e a reciclagem de nutrientes e de materiais orgânicos resultou em um aumento anual de produção, resultado semelhante também observado por SOPPER e SEAKER (1982).

Em casa de vegetação, TUNISON et al. (1982) verificaram o crescimento de grande variedade de altos arbustos em local de incorporação de lodo compostado e não compostado,

ambos com baixos teores de metais pesados. Para o lodo sem compostagem, a incidência de plantas cloróticas e de mortalidade foi bem alta, mas no lodo compostado as plantas se encontraram mais vigorosas e com significativo aumento na produção.

A aplicação de lodo também contribuiu para um melhor estabelecimento de mudas de árvores diversas (SOPPER, 1993). A altura anual e o crescimento no diâmetro geralmente aumentaram nos tratamentos com lodo. As espécies de madeira de lei tiveram uma melhor sobrevivência que as coníferas, devido à competição de vegetação herbácea. As espécies de madeira de lei bem como os álamos Europeu e híbrido obtiveram melhor desempenho mesmo quando na presença de gramíneas e leguminosas semeadas simultaneamente.

#### 2.1.1 Efeito do lodo de esgotos na cultura da macieira

A aplicação de lodo de esgotos na cultura da macieira também tem sido estudada por vários pesquisadores. Verificando o efeito de fertilizantes minerais nitrogenados e orgânicos, no controle de podridão de colo e raiz, UTKHEDE (1984) não encontrou diferenças significativas entre a testemunha e outros tratamentos à base de sulfato de amônio, nitrato de amônio, nitrato de cálcio, uréia e lodo de esgotos. O comprimento e diâmetro do tronco também não foram afetados pelos tratamentos.

Sementes de macieira York Imperial foram colocadas para germinar e avaliadas após sete meses de crescimento nos seguintes substratos: areia contendo solução nutritiva, solos calado e não calado, solos calados e tratados com teores de lodo de esgotos de 25, 50 e 100 kg.ha<sup>-1</sup> de peso seco (KORCAK, 1986). Dos tratamentos utilizando o lodo, um deles era



proveniente de Baltimore com altas concentrações de metais pesados; um segundo tipo apresentava altas concentrações de Cádmio, e por último um composto de lodo de esgotos de Washington D.C. contendo baixas concentrações de metais pesados. Embora a germinação não tenha sido afetada por nenhum dos tratamentos, dois dos três materiais com lodo proporcionaram um aumento no crescimento de plântulas, sendo que o de Baltimore, por apresentar elevados teores de metais pesados proporcionou um desenvolvimento mais lento de plântulas.

CATZEFLIS (1988) conduziu um ensaio a campo verificando o impacto do cultivo ou não em entrelinhas de um pomar de macieira. Para o tratamento de solo nu (controlado com Simazine) a produção atingida foi de  $7,1 \text{ kg.m}^{-2}$ ; para a cobertura com grama nas entrelinhas, foi de  $6,1 \text{ kg.m}^{-2}$  e para a aplicação de uma camada de lodo de esgotos de  $100 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$  conseguiu-se uma produtividade de  $7,5 \text{ kg.m}^{-2}$ .

A aplicação de lodo de esgotos como fertilizante e seus impactos ecológicos foram estudados por SOLOV'EV e KHOMYAKOV (1989). Eles verificaram que a aplicação  $300 \text{ t.ha}^{-1}$  de lodo resultou numa redução da acidificação do solo, acúmulo de nutrientes no solo próximo aos teores ótimos e alta produção de biomassa em macieiras jovens. O acúmulo de metais pesados no solo e nas plantas atingiu quantidades acima das concentrações máximas permitidas. Em Creston (EUA), UTKHEDE e SMITH (1993) também testaram a aplicação de lodo de esgotos, mas com a finalidade de controlar a podridão de colo e raiz em macieiras jovens. Utilizaram ainda oxiclureto de cobre e alguns agentes de controle biológico. Para o lodo aplicado na quantidade de 260 g por árvore, o tratamento foi eficiente no controle da doença, embora tenha sido tóxico para a cultura. Já o tratamento de 130 g de lodo por árvore não controlou a doença mas também não se mostrou tóxico para a cultura.

## 2.3 INTERFERÊNCIA DOS METAIS PESADOS

São considerados metais pesados aqueles elementos que possuem massa específica maior que  $6 \text{ g.cm}^{-3}$  embora esta classificação seja pouco utilizada. Atualmente, o termo “metal pesado” é utilizado para os elementos químicos que contaminam o meio ambiente, provocando diferentes níveis de dano à biota. Os principais elementos químicos enquadrados neste conceito são: Ag (prata), As (arsênio), Cd (cádmio), Co (cobalto), Cr (cromo), Cu (cobre), Hg (mercúrio), Ni (níquel), Pb (chumbo), Sb (antimônio), Se (selênio) e Zn (zinco). Estes elementos são encontrados naturalmente no solo em quantidades de  $\mu\text{g}$  a  $\text{mg.kg}^{-1}$ , concentrações inferiores às consideradas tóxicas aos organismos vivos. São essenciais para organismos vivos os elementos As, Co, Cr, Cu, Se e Zn (MIYAZAWA, 1997), embora em doses muito baixas.

A presença de metais pesados é outro fator que limita a utilização do lodo em práticas agrícolas, embora o conteúdo desses metais esteja intimamente relacionado ao material de origem e do processo de formação do mesmo. Os metais pesados mais comumente encontrados no lodo de esgotos e aos quais são dispensadas cuidadosas atenções são os elementos Cd, Cu, Zn, Pb, Cr, Ni, Fe (ferro) e Mn (manganês), dentre outros metais pesados, que sofrem várias reações químicas no solo, sendo as principais: adsorção na superfície da argila; complexação com ácidos húmicos, fúlvicos, ligantes orgânicos e inorgânicos; precipitação, como carbonatos, hidróxidos, óxidos, sulfetos etc.; oxidação e redução. O equilíbrio químico destas reações define a disponibilidade e toxidez para as plantas, solubilidade e lixiviação de um metal no solo. Em vários países são encontrados níveis variados de detecção de metais pesados no lodo, nas plantas e ainda no próprio solo de onde

são originados. O acúmulo de metais pesados em determinadas partes comestíveis das plantas deve ser estudado, destacando-se principalmente aspectos como características da origem do lodo, tolerância das espécies em altas concentrações de metais pesados e sua distribuição dentro das plantas (WILD, 1993). Muitas vezes a diferença destes teores se dá em função da diversidade ambiental e das diferentes metodologias utilizadas para extração dos metais pesados.

Esterco de animais e lodo de esgotos (biossólidos) são os principais fertilizantes orgânicos que podem conter metais pesados contaminantes. Estes metais pesados podem ser acumulados no solo após repetidas aplicações. O Cd é o metal pesado mais preocupante, pois pode trazer riscos à saúde humana. Outros metais possivelmente significantes são o Ar (argônio), Cr, Pb, Hg, Ni e V (Vanádio). Alguns cuidados em relação aos limites de tolerância na adição desses metais pesados no solo devem ser tomados, pois o efeito a longo prazo ainda é desconhecido e portanto muito explorado nas pesquisas atuais. Esses limites para as culturas geralmente são estabelecidos até 20 a 30 cm de profundidade do solo, onde se tem uma maior atividade das raízes das plantas. O controle da tolerância de concentração de metais pesados e suas limitações devem ser estipulados, bem como para fertilizantes fosfatados. Para o lodo de esgotos normalmente há limitações para metais pesados, enquanto que para adubos fosfatados ocorre somente limitações para o elemento Cd (MORTVEDT, 1996).

Apesar das variações nas concentrações de metais pesados existentes no solo, em condições naturais não têm sido observados danos para as plantas e animais. Isto porque estes elementos são fortemente complexados por ácidos húmicos, o que reduz sua disponibilidade no solo. Os óxidos, hidróxidos, carbonatos, sulfetos, complexos orgânicos e formas metálicas livres, são as principais formas de metais pesados encontradas no lodo de esgotos. Estes compostos sofrem reações químicas e biológicas no solo que alteram sua solubilidade,

mobilidade e conseqüentemente sua disponibilidade ou toxicidade para as plantas. As principais fontes de contaminação do solo por metais pesados são: fungicidas (à base de Cu e Zn), fertilizantes fosfatados (As, Cd, Cr, Pb, Zn etc), esterco de animais (Cu e Zn), lodo de esgoto, lixo urbano e resíduos industriais (MIYAZAWA, 1997).

METCALFE (1984) e METCALFE e LAVIN (1991) aplicaram lodo para correção de solo, na dose de 656 t.ha<sup>-1</sup> e então, a área foi semeada com gramínea. Os níveis de metais pesados do lodo não foram suficientes para interferir no uso da forragem, e foram menores que as concentrações críticas para redução da produção citadas por Davis e Beckett (1978), citados por METCALFE e LAVIN (1991), de 10 mg.kg<sup>-1</sup> de Cu , 14 mg.kg<sup>-1</sup> de Ni, 21 mg.kg<sup>-1</sup> de Cu, 221 mg.kg<sup>-1</sup> de Zn, 10 mg.kg<sup>-1</sup> de Cd e 35 mg.kg<sup>-1</sup> de Pb, todas para centeio. Em outro experimento, foi aplicado 692 t.ha<sup>-1</sup> de lodo em base seca, de laguna em semeadura de gramínea. Os níveis de Ni, Zn, Pb, Cd, e Cr foram bem abaixo dos citados anteriormente como limitantes, e por isso observou-se aumento na produção. O único elemento que excedeu o nível crítico foi Cu, variando de 22,8 a 33,4 mg.kg<sup>-1</sup> durante os cinco anos de monitoramento, embora doses de até 24,5 mg.kg<sup>-1</sup> permitiram um crescimento normal sem contaminação da planta.

Dois estudos, conduzidos em Wisconsin e Oklahoma, com lodo de esgotos mostraram que o lodo foi bem mais eficiente que outros fertilizantes orgânicos de origem animal aplicados em gramíneas (MORRISON e HARDELL, 1982; CAVEY e BOWLES, 1982). Solos contaminados, próximos à fundição de Zn, em Oklahoma, foram tidos sem sucesso na revegetação em aplicação de lodo reforçado com uréia, onde fertilizantes inorgânicos não surtiram efeito.

Com o intuito de verificar a interação da aplicação do lodo de esgotos (em doses de 0, 45, 90 e 180 t.ha<sup>-1</sup>) em três tipos de solos argilosos, HUE e ARIFIN (1988) realizaram um

experimento com a cultura de *Lactuca sativa* (alface). Os autores verificaram que apenas os elementos Cd e Zn aumentaram suas concentrações na planta conforme se aumentaram as doses de lodo nos três tipos de solo. Já o elemento Ni teve este mesmo comportamento em apenas um tipo de solo, e o Mn aumentou drasticamente sua concentração na solução do solo, proporcionando sintomas de fitotoxidez em níveis excedentes à  $700 \text{ mg.kg}^{-1}$ , ocorrendo redução do crescimento da planta, em dois tipos de solos.

BON e SOLTANPOUR (1992) concluíram em suas pesquisas com aplicação de lodo de esgotos, que não houve acúmulo de Pb nas folhas de *Brasica oleracea* em solos contaminados, mas ao contrário ocorreu com Cd e Zn. Nas raízes, este acúmulo alcançou um teor médio de tais elementos, entretanto apresentaram um alto acúmulo nos frutos, que podem trazer altos riscos à saúde humana.

Por meio de diferentes métodos de extração, SIMS e KLINE (1991) utilizaram quatro valores de pH e quatro doses de aplicação de composto de lodo de esgotos em plantas de trigo e soja, em casa de vegetação. Foi verificado um pequeno efeito das concentrações de Cd, Cr e Pb na produção, e um grande aumento de Cu, Ni e Zn nos tecidos da parte vegetativa de trigo e soja, e de Ni e Zn nos grãos de soja. A calagem diminuiu os efeitos de Zn e Mn em soja e trigo, e do Ni nos grãos de soja, mas raramente foram afetados por Cd, Cr, Cu ou Pb. Com exceção do Zn, sempre houve uma relação entre o total dos elementos no solo e a concentração dos mesmos na planta.

No estudo da aplicação de lodo (0, 5, 10, 20 e  $60 \text{ t.ha}^{-1}$ ) com alta concentração de Cu ( $872 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) em dois solos derivados de xisto, com adubação de P e K (potássio), os resultados permitiram concluir que a produção de matéria seca no tratamento com lodo foi estatisticamente maior, atribuída ao teor de Zn das folhas decorrente da aplicação do lodo. O nível de Cu no solo não afetou a produção (DOMINIQUE et al., 1993).

O risco potencial causado por elementos presentes no lodo de esgoto foi estudado por CHANEY et al. (1994). Observou-se que em solos fortemente ácidos houve aumento na absorção de Zn, Cd, Ni, Mn e Co, e um aumento para fitotoxicidade de Cu, Zn e Ni. Já em solos alcalinos a absorção foi maior de Mo (molibdênio) e Se, a aplicação de lodo em *Lactuca sativa* (alface) permitiu uma adição de Fe e Mn no composto, reduzindo a absorção de Cd e Zn.

Por três anos foram cultivados milho e soja em solo tratado com altas doses de contaminação de Mo no lodo. Após o terceiro período de crescimento, pôde-se observar que o resíduo deixado pelo tratamento com lodo permitiu um aumento do pH do solo de 4,8 para 7,1, e os resultados mostraram diminuição do acúmulo de Mo nas plantas amostradas (PIERZYNSKI e JACOBS, 1986).

HECKMAN et al. (1987) conduziram um experimento com a cultura da soja sob aplicação de lodo em diferentes estágios: por digestão anaeróbica e calado, calado e cru, composto calado, e ainda lodo curtido, que variaram em concentração e níveis de pH. As concentrações de metais pesados nos brotos das plantas variaram em função do tipo de lodo, doses de aplicação e pH do solo. Em solos com lodo não calado foi onde se tiveram as maiores concentrações de metais pesados na planta. Já no lodo por digestão se teve um aumento das concentrações de Zn, Cd, Cu e Ni. A soja teve um acréscimo de Zn, de 24 para 165 mg.kg<sup>-1</sup>, e o Cd aumentou de 0,06 para 0,25 mg.kg<sup>-1</sup> na dose de 112 t.ha<sup>-1</sup>, comparados com a testemunha. Houve também uma maior resposta da acumulação de Zn e Cd em solos com pH mais baixos. Na dose de 100 t.ha<sup>-1</sup> de lodo, as concentrações de Zn e Cd na soja foram de respectivamente 59 e 1,75 mg.kg<sup>-1</sup> em pH de 6,4, e de 84 e 2,54 mg.kg<sup>-1</sup> em pH de 5,8. Esses resultados indicaram que a composição do lodo juntamente ao pH do solo podem exercer influência por até nove anos após a primeira aplicação.

SIKORA e WOLT (1986) aplicaram lodo de esgotos com quatro níveis diferentes de concentração, tanto de Cd como de Zn, em milho. Verificou-se que os níveis mais elevados de Cd e Zn no solo resultaram num decréscimo de matéria seca de 19 e de 25 % respectivamente, na região apical e raiz. Essa redução ocasionada pelo alto teor de Cd foi atribuída à provável baixa disponibilidade do elemento devido à sua precipitação ou fixação pelo lodo de esgotos. Observou-se que, com aumento do conteúdo de Zn, o Cd decresceu na raiz, diferentemente da parte aérea apical, onde o nível dos dois elementos aumentou. Um aumento no teor de Zn no solo favoreceu maior solubilidade de Cd.

Em casa de vegetação, KIM et al. (1988) verificaram a concentração relativa de Cd e Zn, em tecidos de acelga suíça tratadas com lodo de esgotos. As concentrações relativas de Cd e Zn no crescimento das plantas dos principais tratamentos com lodo foram significativamente diferentes a 0,01% de probabilidade.

MULLINS e SOMMERS (1986) verificaram o efeito da aplicação de 19 kg.ha<sup>-1</sup> lodo de esgotos, resultando na adição de 19 kg.ha<sup>-1</sup> de Cd e de 340 kg.ha<sup>-1</sup> de Zn, em quatro diferentes tipos de solos. Observou-se que a aplicação de lodo promoveu um acréscimo de ambos os elementos na solução do solo, sendo que a solubilidade de Cd e Zn nesta solução superaram a faixa de 85 e 91%, respectivamente, do íon livre. Houve ainda um fluxo maior de Cd e Zn para a raiz da planta no tratamento com lodo.

A determinação da concentração de metais pesados foi realizada num experimento de adubação (lodo de esgotos tratado, tratamento com fertilizante e testemunha) durante dez anos consecutivos, por LEVINE et al. (1989). As concentrações de Cd decresceram anualmente, embora nas plantas tratadas com lodo as concentrações foram bem mais altas que no tratamento com fertilizantes. No solo, as concentrações de Cu foram maiores no tratamento com lodo, bem como na planta *Setaria faberii*. Já as concentrações de Pb no lodo decresceram

em 1978, ao contrário do que ocorreu no solo, que em 1986 subiu para 48,4 mg.kg<sup>-1</sup>. As médias para o elemento Zn variaram em 1987, sendo que em 1984 era de 1281,0 mg.kg<sup>-1</sup> no lodo. No solo, a concentração do Zn aumentou. Entre as espécies de plantas analisadas (*Rubus frondosus* e *S. faberii*), a concentração de Zn variou bastante.

O efeito da aplicação de lodo de esgotos e de xisto em solos podzólicos, e o acúmulo de formas móveis de Pb, Ni, Cd e Cr na Rússia, foram estudados por KRASNIAK (1994). O uso do lodo de esgotos resultou em um aumento na concentração de poluentes no solo quando comparado com a testemunha. Já o tratamento com xisto resultou numa redução da mobilidade dos metais pesados, e então indicado para ser usado em processos de desintoxicação de solos contaminados.

A aderência de metais pesados pela superfície das folhas e sua diluição com o tempo foram fatores dependentes da dose e da concentração dos mesmos no lodo aplicado, altura da cobertura e tipo do metal, testados em pastagem. A concentração dos elementos Cd, Cu, Ni e Zn no solo reduziram significativamente. Já a concentração dos elementos Cd, Cu e Zn na pastagem foi significativamente maior com doses de fertilizantes nitrogenados. O cultivo e a ressemeadura permitiram um aumento nas concentrações de Cu, Zn e Ni na pastagem (BUTTIGIEG et al., 1989).

O lodo de esgotos proveniente de diferentes localidades da Venezuela foi estudado por TANNOUNX et al. (1993) em solos ácidos e alcalinos. O lodo foi aplicado em dois tipos de solos ácidos, com variações de níveis de pH de 4,2 e 4,5, e ainda dois outros com níveis de pH de 7,2 e 7,5. O experimento foi realizado com plantas de milho. Os melhores resultados foram obtidos com a aplicação de lodo de esgotos na dose de 50 t.ha<sup>-1</sup>. As maiores produtividades, bem como a maior concentração de metais pesados nas plantas foram



observados em solos ácidos. Não se encontraram os elementos Pb, Ni, Cr ou Cd nos tecidos das plantas analisadas.

Com o objetivo de verificar os efeitos do pH do solo em relação à translocação dos metais pesados Ni, Cu e Zn em pastagens de azevém, SMITH (1994) determinou a concentração destes metais em níveis de pH entre 4,2 e 7,0. Os resultados mostraram que o Cu foi o menos afetado por mudanças no pH quando comparado com Ni e Zn. Já em relação ao elemento Cd, sua absorção pelas plantas é inversamente proporcional à redução do pH. Nas culturas de batata, azevém e aveia, relacionando as concentrações de Cd à variação de pH, o autor pôde perceber que as concentrações nos tubérculos e cascas de batatas, palhas de aveia e no azevém decresceram em função do aumento de pH na faixa estudada (3,9 a 7,6). Os teores de Cd permissíveis em solos tratados com lodo, segundo relação entre aplicação ao solo e absorção pelas plantas pesquisadas, foram determinados como 2,0 e 2,5 mg.kg<sup>-1</sup> de Cd para faixas de pH entre 5,0 a 5,5 e 5,5 a 6,0, respectivamente.

COKER et al. (1982) mostraram os benefícios trazidos com a utilização de lodo de esgotos como adubo orgânico, utilizado em Smallford, onde foi colocado doses de 20 e 120 t.ha<sup>-1</sup>, em peso úmido. Após a incorporação do lodo foram semeados centeio perene e espécies forrageiras. Somente a maior dosagem de aplicação de lodo aumentou significativamente a produção de forragem no primeiro ano. As médias de metais pesados encontradas na dose mais alta de lodo foram de 19,6 kg Cd , 291,2 kg Cu, 61,6 kg Ni e 509,6 de Zn, todos para uma área de um hectare. Os resultados mostraram que a aplicação de até 100 t.ha<sup>-1</sup> de lodo poderia ser feita sem trazer danos quanto à toxidez de metais pesados para plantas e animais, embora tal dose necessite de complementação de fertilização do solo.

## 2.4 INTERFERÊNCIA DOS TEORES DE NUTRIENTES

HINESLY et al. (1984) pesquisaram por três anos um lodo de esgotos que foi tratado para ser estocado, sendo em seguida desidratado e calado com dosagens de 0, 224, 448 e 896 t.ha<sup>-1</sup>. Nove espécies de gramíneas foram semeadas, e em seguida plantou-se milho. Foi verificado que a concentração total dos elementos P, Ca (cálcio), Mg (magnésio), Fe, Zn, Cd, Cr, Cu, Ni e Pb aumentou significativamente conforme se aumentaram as dosagens de lodo, sendo que o contrário foi verificado para Na (sódio) e K. Já o Mn permaneceu inalterado. Foram coletadas amostras por 31 meses, e os resultados mostraram uma permanência dos elementos N, P, Zn, Cd, Cr, Cu, Ni e Pb de 0 a 30 cm de profundidade, e dos elementos K, Na, Ca, Mg e Fe até 15 cm. Somente o pH foi alterado em profundidades maiores que 30 cm, diminuindo em uma unidade de 30 a 46 cm com aplicação do lodo. Nos primeiros dois meses se teve a melhor produtividade de milho com a aplicação tanto de 224 como de 448 t.ha<sup>-1</sup> de lodo. As análises foliares realizadas mostraram que a planta não foi afetada por concentrações de Mg, Ca, P, Fe, Cr e Pb, mas houve aumento nas concentrações de N, Zn, Mn, Ni, Cd e Cu. Estes elementos não ultrapassaram os limites de tolerância estipulados por MELSTED (1973), com exceção do Cd.

POWELL et al. (1988) verificaram o uso de materiais orgânicos na restauração e reestruturação de solos de uma fazenda em Kentucky (EUA). Os autores utilizaram lodo de esgotos desidratado e um outro composto comercialmente vantajoso (“Real Earth”) oriundo de lodo de esgotos seco e de lixo compostado, nas proporções de 22,4 e 44,8 t.ha<sup>-1</sup> desidratados em vasos, com 3,14 t.ha<sup>-1</sup> de calcário e após incorporados. Foram semeadas sementes de sorgo e de milho, e verificou-se a melhor produtividade de sorgo no tratamento com lodo, seguido da testemunha, e do “Real Earth”. A produção de milho também foi

melhor com o lodo, mas a testemunha foi a que teve menor desempenho. Para estes solos tratados houve uma menor acidificação de solo, com maior conteúdo de matéria orgânica, e níveis bem mais altos de N e P. A capacidade de retenção de água e a densidade do solo não foram afetadas pelos tratamentos com material orgânico.

Com objetivo de avaliar a eficiência do lodo de esgotos, proveniente de uma indústria siderúrgica, como fertilizante na cultura do sorgo, DE FELIPO et al. (1991) verificaram que além do lodo aumentar a produção de matéria seca, também atuou como fonte dos elementos P, Fe, Zn, Mn e Cu para o sorgo.

Estudando a composição química do lodo de esgotos proveniente de 30 diferentes locais e seu potencial como fertilizante, SOMMERS (1977) aplicou o lodo em 150 plantas, em 8 diferentes locais. As concentrações médias dos macroelementos N, P e K foram muito pouco variáveis de uma localidade para outra, o contrário ocorrendo com Pb, Zn, Cu, Ni e Cd. Baseado na população de plantas e na aplicação do lodo em função do N disponível, de modo geral, a dose de 100 kg de N disponível por hectare é recomendada, mas recomenda-se um estudo simultâneo profundo desses metais pesados para evitar danos às culturas.

Os efeitos da aplicação de lodo de esgotos e de composto de esgoto sobre o solo e suas consequências refletidas nas propriedades físicas e químicas, foram observadas por EPSTEIN et al. (1976). Em níveis de pH (respectivamente a 6,5 e 6,8) foram aplicados 5 níveis de lodo e composto, e observou-se a dificuldade de aplicação das maiores dosagens de 120 e 240 t.ha<sup>-1</sup>. Ambos aumentaram a capacidade de retenção e o conteúdo de água no solo, aumentaram também a salinidade e o nível de cloro no solo, o mesmo ocorrendo com a capacidade de troca catiônica. Os níveis de N - nitrato foram os mais altos quando observados na profundidade de 15 a 20 cm e a disponibilidade de P foi alta nos dois primeiros anos, aparentemente causando excesso para as plantas de milho.

KING e MORRIS (1972) verificaram a disposição do líquido de lodo de esgotos no solo e seus efeitos em relação ao pH, Mn, Zn, crescimento e composição química de plantas de centeio. Os tratamentos com o lodo acarretaram em uma redução do pH do solo, aumentando a troca e a solubilidade de Mn e a troca de Zn no solo. Acima de 29 kg.ha<sup>-1</sup> houve troca e a 12,7 kg.ha<sup>-1</sup> houve solubilidade do Zn na crosta. Das profundidades avaliadas, a máxima produção de centeio ocorreu a 1,25 - 2,5 cm com fertilizante químico, sendo a menor a 5 cm, provavelmente por deficiência de N, P, K, Ca ou Mg e altas quantidades de Mn, B (boro), Ni ou Al (alumínio).

Em casa-de-vegetação, OLIVEIRA et al. (1995) avaliaram o efeito da aplicação de diferentes doses de lodo de esgotos (0, 5, 10 e 20 t.ha<sup>-1</sup>), complementadas ou não com N e ou K, no cultivo de sorgo granífero. Observou-se que a adubação com lodo proporcionou um aumento de matéria seca, mas que para atender às necessidades da cultura, fez-se necessária a complementação com adubação potássica.

Verificando o efeito imediato da aplicação de lodo de esgotos (0, 20, 40, 80 e 160 t.ha<sup>-1</sup> em base úmida) nas culturas de milho e na associação aveia-ervilhaca, DA ROS et al. (1993) observaram que a aplicação do lodo proporcionou aumento significativo no rendimento de matéria seca e na absorção de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O pelo milho, aumento na produção de matéria seca da associação aveia-ervilhaca e de grãos de aveia, e aumento no nível de N - total e de P disponível no solo. Ficou evidente a necessidade de suplementação mineral quando se usou lodo de esgotos como fertilizante.

BIDDAPPA et al. (1987) verificaram o efeito do suprimento de vários metais pesados, como Pb, Cd, Al, Bi (bismuto), Cr, Cu e Ba (bário) pelas raízes de palmeiras do tipo coqueiro, e a concentração de P, K, Ca e Mg nas folhas das plantas. Os resultados mostraram que a concentração de P nas folhas foi reduzida pela presença de todos os metais, quando

comparada com a testemunha. A concentração de K nas folhas foi reduzida pela presença de Al, Cd e Ba, mas aumentou quando em presença de Ba e Cr. A concentração de Ca decresceu pela atuação de Se e Pb e aumentou com os tratamentos de Cd, Cr e Ba. Em relação ao Mg, seu nível nas folhas decresceu com os tratamentos de Al e Cr, porém se elevou com o tratamento à base de Pb.

MISRA et al. (1995) conduziram experimentos utilizando lodo de esgotos na água de irrigação na cultura de alface, com aplicação de 4 doses de lodo (0, 10, 20, 30 t.ha<sup>-1</sup>) e de três doses de fosfato a 19,4% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0, 120, 140 e 160 kg.ha<sup>-1</sup>), separadamente e em conjunto. O crescimento das plantas bem como a massa verde aumentaram conforme houve acréscimo de lodo e de fosfato. Os efeitos do fosfato e de lodo na absorção de Cd, Cr, Pb e Zn foram avaliados, concluindo-se que os elementos Cd, Cr e Pb aumentaram com acréscimo de lodo, mas para fosfato diminuíram. Já para o Zn, houve aumento de absorção com aplicação do lodo e também no tratamento de lodo mais fosfato na maior dosagem.

Foi realizado um experimento a campo com as culturas de sorgo, milho e caupi, irrigadas com água derivada do tratamento de lodo de esgotos, efluente de uma indústria farmacêutica ou ainda água limpa, com dosagens de 0, 50, 100 ou 150 kg de N, combinadas com 60 kg de P e 40kg de K po hectare, ou ainda sem fertilizantes (SINGH et al., 1995). A maior produção foi obtida, tanto para o milho como para o sorgo, com o tratamento da água originada do lodo de esgotos, e a mais baixa somente com água, sendo que a aplicação de fertilizantes também aumentou a produção. A resposta à adubação de NPK foi constante para o tratamento exclusivo de água, e bem variável para a água originada do lodo. O caupi não foi afetado pelo tratamento com água do lodo.

FERRIER et al. (1996) compararam os efeitos da adubação de N e P por fertilizantes e por lodo de esgotos, bem como a concentração e o fluxo desses elementos no solo e nas

plantas de *Pinus sylvestris*. Houve uma tendência de nitrificação e de produção de nitrato com o tempo, em ambos os tratamentos. Os fluxos de N e P lixiviados no horizonte do solo foram menores quando aplicados de forma mineral. A concentração foliar desses elementos após um ano foi maior para todos os tratamentos ( $P < 0,01$ ), sendo que a adubação convencional com uréia proporcionou uma concentração foliar de N significativa, em comparação com o tratamento de lodo. Não houve lixiviação de P e N durante todo ano no tratamento com lodo.

A eficácia do lodo de esgotos peletizado (LEP) como fertilizante foi estudada em casa de vegetação, por COX (1995). A fim de se avaliar o N lixiviado, três experimentos foram conduzidos comparando-se o SPF com o fertilizante convencional NPK solúvel em água (NPK), cultivando-se tagetes e capim Nova Guiné. O experimento foi realizado em vasos de 0,5 L, onde cada tratamento recebeu a mesma quantidade de N e a mesma quantidade de água de irrigação. O tratamento apenas com LEP resultou em uma menor lixiviação de N em tagetes, e inadequado teor de N para a cultura, mostrando inclusive sintomas de deficiência do elemento, diferindo do tratamento com NPK e da testemunha. Porém, no capim Nova Guiné o suprimento de N no tratamento apenas com LEP não foi eficiente, e o suprimento de água foi igual aos demais tratamentos, inclusive com menores teores de N lixiviado. O crescimento do tagetes aumentou, e os sintomas de deficiência de N foram prevenidos com a aplicação da solução de NPK, mas esse mesmo tratamento não afetou o capim Nova Guiné. A combinação de LEP e NPK foi o melhor tratamento, pois lixiviou menos N que o LEP sozinho. Entretanto, para o capim Nova Guiné foi o tratamento em que se teve maior lixiviação de N. Concluiu-se que o melhor tratamento com LEP pode permitir um adequado nível de N para obtenção de um crescimento lento em plantas com baixa absorção de N, como é o caso do capim Nova Guiné, mas que, para a obtenção de um rápido crescimento em plantas com alta absorção de N, o LEP deve ser combinado com fertilizantes mais solúveis.

Conduziu-se um experimento em vasos, com teores de 0, 1, 2 ou 3 % de lodo de esgotos aplicados conjuntamente ou não com 0, 2 ou 4 % de esterco, em areia calada e em solo argiloso, cultivados com plantas de trigo. O aumento na concentração de doses de lodo e de esterco aumentaram o suprimento de água e a absorção de NPK em ambos os solos. A melhor combinação, com aumento na absorção de NPK, foi obtida com o tratamento com 4 % de esterco mais 3 % de lodo de esgotos (EL DAWWEY, 1993).

O lodo de esgotos produzido por meio de tratamento térmico, foi avaliado em relação ao conteúdo e bioviabilidade de P, por POMMEL (1995). Foi avaliado o fluxo de P do lodo para a planta, quando a capacidade de fixação do solo competiu com a planta. O lodo tratado por processos térmicos viabilizou metade do P na maioria dos processos de digestão do lodo, isto é, 11% da eficiência do fosfato monocálcico após 30 dias (20°C) de contato entre solo - raiz, e 36% após 155 dias (20°C). Em solo argiloso, a bioviabilidade do P foi de 30% após 50 dias (20°C), e um aumento de 37% quando o centeio foi suprido, sendo ainda de 40% após 15 dias. A conclusão obtida sugere o uso do lodo submetido ao tratamento térmico, como fertilizante em solos com bons teores de P, especialmente com alta capacidade de retenção de P.

BERTON (1992) descreveu que a adubação fosfatada impõe pouca ou nenhuma ameaça para as águas subterrâneas, mesmo em grandes aplicações seja na forma de adubo, lodo de esgotos ou esterco. O autor demonstrou que o P do lodo de esgotos parece ser muito menos lábil que em esterco de animais, provavelmente devido à formação de compostos insolúveis, com metais presentes no lodo (Fe, Al, Zn, Pb etc.). Valores de elementos tóxicos presentes no lodo de esgotos, esterco de curral e do composto de lixo urbano, mostraram que o lodo de esgotos é o resíduo de maior perigo para a contaminação do solo, o qual na maioria das vezes possui caráter irreversível. A aplicação de 100 t.ha<sup>-1</sup> de lodo de esgotos em solos da

Holanda, mostrou que o Cd é o elemento limitante da aplicação deste resíduo no solo, segundo as exigências deste país.





### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 LOCAL DOS EXPERIMENTOS

Os experimentos foram conduzidos no Setor de Fruticultura da Fazenda Experimental do Canguiri (CEEx-Canguiri), pertencente à Universidade Federal do Paraná (UFPR), localizada no município de Pinhais (PR), região metropolitana de Curitiba, no período compreendido entre 1996 e 1997. A Fazenda está situada na região sul do Paraná, a uma latitude de 25° 25' sul, e 49° 08' de longitude oeste, com uma altitude compreendida entre as cotas 915 e 930 metros.

#### 3.2 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DO LOCAL

Segundo a classificação de Köppen, o clima foi identificado como sendo do tipo Cfb, com temperatura média do mês mais frio abaixo de 18° C (mesotérmico). Os verões são amenos, com temperatura média do mês mais quente abaixo de 22° C. Não há estação seca definida, ocorrendo geadas frequentes no inverno (cerca de 10 geadas noturnas por ano), totalizando uma média de 200 horas de frio abaixo de 7°C no período de maio a agosto. A precipitação pluvial anual média da região varia entre 1400 e 1500 mm, sendo os meses de abril e maio os mais secos, com médias de precipitação compreendidas entre 75 e 100 mm. A média anual de umidade relativa é de 80 a 85 % e a média de insolação anual é de 1800 horas.

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTOS

O ensaio constou de 2 etapas, aplicando-se lodo de esgotos oriundo da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Belém, da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), da região metropolitana de Curitiba. A etapa 1 foi determinada pela aplicação de lodo em covas de plantio de mudas de macieira e a etapa 2 visou a aplicação na projeção da copa de plantas da mesma espécie, de pomar em início de produção (4 anos). A análise do lote de lodo de esgotos recebido para os ensaios foi realizada pelo Laboratório de Nutrição do Instituto de Tecnologia do Paraná (TECPAR).

De acordo com a TABELA 1 pode-se verificar os teores de N, P, K e metais pesados contidos no lodo, em base seca. O lote de lodo amostrado continha na ocasião um teor de umidade de 68,85% e pH de 11,8.

TABELA 1 - TEORES DE N, P, K E METAIS PESADOS, DETECTADOS NO LOTE DE LODO DE ESGOTOS CEDIDO PELA SANEPAR, UTILIZADO NO EXPERIMENTO.

| <b>N</b>                       | <b>P</b>                        | <b>K</b> | <b>Cd</b> | <b>Cr</b> | <b>Zn</b> | <b>Pb</b> | <b>Cu</b> | <b>Ni</b> | <b>Hg</b> |
|--------------------------------|---------------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ..... g.kg <sup>-1</sup> ..... | ..... mg.kg <sup>-1</sup> ..... |          |           |           |           |           |           |           |           |
| 2,5                            | 0,9                             | 0,2      | 9,1       | 41,0      | 319,0     | 74,0      | 110,0     | 40,0      | 0,8       |

FONTE: Instituto de Tecnologia do Paraná (TECPAR), 1996.

Em função da concentração de N total contida no lodo de esgotos, e considerando-se apenas 50% do N e do P disponível e 100% de disponibilidade de K do lodo, a dosagem de N recomendada por planta nestes estádios da cultura foi substituída por adubo mineral simples ou orgânico (lodo de esgotos) a fim de se obter a quantidade recomendada. Os demais elementos (P e K) foram complementados com adubo mineral até atingir a dosagem recomendada, por planta, originando assim as diferentes dosagens utilizadas nos tratamentos.

Dos adubos minerais utilizados, considerou-se para a uréia a concentração de 45% de N, para o superfosfato simples considerou-se 18% de  $P_2O_5$  e para o cloreto de potássio, 60% de  $K_2O$ .

A variedade de macieira utilizada nos dois experimentos foi Gala, enxertada sobre a variedade MM-106. O solo da área experimental foi caracterizado como Cambissolo Álico Tb A proeminente textura argilosa, fase floresta subtropical perenifólia, com relevo suave ondulado, de substrato argilito <sup>1</sup>.

### 3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

#### 3.4.1 Experimento em macieiras de quatro anos

A implantação do experimento foi realizada em outubro de 1996, e as avaliações foram realizadas durante o período da colheita, que se deu em janeiro de 1997, e fevereiro de 1997, na época da amostragem foliar.

O pomar de macieira utilizado apresentava 4 anos de idade, possuindo plantas da variedade Gala intercaladas com plantas polinizadoras das variedades Melrose e Molies Delicious, distribuídas na proporção de 1 polinizadora para cada 4 produtoras.

A cada 8 macieiras Gala havia uma planta da cultivar da polinizadora, que serviu também como bordadura entre uma repetição e outra. O espaçamento utilizado foi de 4,5m x 1,5m, totalizando 6 linhas de cultivo, e 48 plantas da variedade Gala por linha, e ainda 288 plantas da mesma variedade para todo o experimento.

---

<sup>1</sup> Comunicação pessoal da Eng<sup>a</sup>. Agrônoma Nadja Lúcia Bertoni Ghani, 1998. Professora Substituta do Depto. de Solos do Setor de Ciências Agrárias, UFPR, Curitiba - Paraná.

No local da projeção da copa das plantas ao solo, procedeu-se a aplicação dos adubos segundo a recomendação de adubação mineral (IAC - Trevo S/A), constituída por 300g de N, 200g de  $P_2O_5$  e 240g de  $K_2O$ , independente da fonte. Os resultados das análises de solo realizadas a partir de amostragens coletadas na área do experimento, previamente à implantação dos ensaios, nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm, podem ser observados na TABELA 2.

TABELA 2 - TEORES MÉDIOS DETECTADOS EM AMOSTRAS DE SOLO RETIRADAS NAS PROFUNDIDADES DE 0-20 CM E 20-40 CM, NA ÁREA DO EXPERIMENTO.

| Profundidade | pH   | $Al^{3+}$ | H +  | $Ca^{2+}$             | $K^+$ | T     | P                   | C                  | %    | %     |
|--------------|------|-----------|------|-----------------------|-------|-------|---------------------|--------------------|------|-------|
|              | CaCl |           | Al   | $Mg^{2+}$             |       |       |                     |                    | m    | V     |
| cm           |      |           |      | molc.dm <sup>-3</sup> |       |       | mg.dm <sup>-3</sup> | g.dm <sup>-3</sup> | %    | %     |
| 0-20         | 5,82 | 0,00      | 3,07 | 15,10                 | 0,18  | 18,33 | 10,67               | 22,98              | 0,00 | 83,32 |
| 20-40        | 5,45 | 0,00      | 3,78 | 13,52                 | 0,13  | 17,45 | 8,67                | 21,37              | 0,00 | 78,05 |

FONTE: Resultados obtidos no Laboratório de Análise de Solos do Depto. de Solos (SCA-UFPR)

Os tratamentos testados foram os seguintes:

T1: adubação exclusivamente com lodo de esgotos;

T2: 75% de N via lodo de esgotos + 25% de N via adubação mineral;

T3: 50% de N via lodo de esgotos + 50% de N via adubação mineral;

T4: 25% de N via lodo de esgotos + 75% de N via adubação mineral;

T5: exclusivamente adubação mineral;

T6: Testemunha (sem adubação).

Os tratamentos constaram de 6 repetições, distribuídos em blocos ao acaso, totalizando 36 unidades experimentais, com 8 plantas por parcela. A área utilizada foi de 2470,5 m<sup>2</sup>, com 288 plantas da variedade Gala, mais 78 plantas polinizadoras, incluindo as polinizadoras da

bordadura. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 99% de probabilidade (BANZATTO e KRONKA, 1992).

Conforme a recomendação de adubação mineral (VAN RAIJ et al., 1997), utilizou-se 300g de N, 200g de  $P_2O_5$  e 240g de  $K_2O$  (T5) por planta, em equivalentes dosagens dos adubos minerais uréia (666,66g), superfosfato simples (1111,11g) e cloreto de potássio (413,79g). Os demais tratamentos receberam adubações complementares de nitrogênio, fósforo e potássio, com os mesmos fertilizantes químicos. As doses dos adubos mineral e orgânico aplicadas por planta podem ser observadas na TABELA 3.

**TABELA 3 - DOSES DE ADUBO MINERAL OU ORGÂNICO APLICADAS EM CADA PLANTA, DE ACORDO COM OS TRATAMENTOS ESTABELECIDOS.**

| <b>Tratamentos</b> | <b>Lodo de esgotos<br/>(kg úmido)</b> | <b>Uréia<br/>(g)</b> | <b>Superfosfato<br/>simples (g)</b> | <b>Cloreto de<br/>potássio (g)</b> |
|--------------------|---------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| T1                 | 76,9                                  | -                    | 512,83                              | 334,22                             |
| T2                 | 57,7                                  | 166,67               | 662,43                              | 354,10                             |
| T3                 | 38,5                                  | 333,35               | 811,95                              | 374,01                             |
| T4                 | 19,2                                  | 498,00               | 961,53                              | 393,90                             |
| T5                 | -                                     | 666,66               | 1111,11                             | 413,79                             |
| T6                 | -                                     | -                    | -                                   | -                                  |

A aplicação foi realizada manualmente, a lanço na área da projeção da copa das plantas, e a incorporação dos adubos utilizados foi realizada, também manualmente, com auxílio de enxadas, de forma superficial, para evitar a exposição do adubo aplicado e de modo a não prejudicar o sistema radicular das plantas que se encontrava de forma superficial.

Para a realização do tratamento fitossanitário realizaram-se pulverizações quinzenais com Baycor (Bitertanol 250g.kg<sup>-1</sup>), na dosagem de 0,3%. Realizou-se ainda o tratamento para quebra de dormência, no início de setembro, à base de Dormex (Cyanamida hidrogenada 520g.L<sup>-1</sup>) e óleo mineral Triona (Hidrocarboneto 800 mL.L<sup>-1</sup>), respectivamente na dosagem de 0,5% e 4%.

Para as avaliações de concentração de metais pesados nos frutos, realizou-se a colheita de todos os frutos encontrados nas plantas do experimento (janeiro/97), e destes foram retirados aleatoriamente cerca de 5 kg de frutos, que então foram submetidos à determinação dos metais pesados Cádmio, Cobre, Níquel, Zinco, Chumbo e Cromo. As análises para determinação dos teores de metais pesados foram realizadas pelo Laboratório do TECPAR, pela metodologia de absorção atômica.

A coleta das folhas para realização da análise foliar foi em fevereiro/97, considerando-se as folhas maduras da região central do ramo, do terço médio da altura das plantas e ainda dos quatro quadrantes da mesma, segundo as Recomendações de Adubação e Calagem para os estados do rio Grande do Sul e Santa Catarina (1989). Os elementos analisados foram Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio, Ferro, Manganês, Cobre, Zinco e Boro. As análises foliares foram realizadas no Laboratório de Nutrição de Plantas, do Departamento de Solos da UFPR, segundo a Metodologia descrita por Christa Hildebrand modificada. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 99% de probabilidade (BANZATTO e KRONKA, 1992).

#### 3.4.2 Experimento com mudas de macieira

A implantação do experimento foi realizada em outubro de 1996, e as avaliações foram realizadas em abril de 1997, quando se procedeu a amostragem foliar.

Para o plantio foram utilizadas mudas de macieira de 1 ano de idade da cultivar Gala, enxertadas sobre a cultivar MM-106. As mudas foram submetidas ao desbaste e poda de

raízes, anteriormente ao plantio, com o auxílio de tesouras de poda. O espaçamento utilizado foi de 1,5m x 4,5m, com um número total de 150 plantas, abrangendo área total de 1012,5m<sup>2</sup>.

A adubação básica de plantio foi de 20L de esterco de carneiro (0,4% de N total; 0,54% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 0,65% de K<sub>2</sub>O, todos dados em base úmida), 2kg de calcário dolomítico, 500g de superfosfato simples (90g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 300g de cloreto de potássio (180g de K<sub>2</sub>O) em cada cova. A substituição pelo lodo de esgotos também se deu em função do teor de N contido no esterco ( 2,5% de N total, em base seca). Para determinação das quantidades de lodo de esgotos considerou-se apenas 50% de disponibilidade dos teores de N e P totais, e 100% de disponibilidade de K (critério adotado para pesquisas com lodo de esgotos da SANEPAR- ETE Belém). Para o esterco considerou-se 100% dos teores de N, P e K encontrados no material.

Desta forma, foram estabelecidos os seguintes tratamentos:

T1: 100% de N adubado exclusivamente com lodo de esgotos + calagem;

T2: 75% de N via lodo de esgotos + 25% de N via esterco + complementação mineral + calagem;

T3: 50% de N via lodo de esgotos + 50% de N via esterco + complementação mineral + calagem;

T4: 25% de N via lodo de esgotos + 75% de N via esterco + complementação mineral + calagem;

T5: Adubação mineral e calagem recomendadas para o plantio + calagem;

T6: Testemunha (sem adubação e sem calagem).

As dosagens utilizadas se encontram na TABELA 4.

Após 2 dias do plantio das mudas, fez-se tratamento químico para quebra de dormência, utilizando-se Dormex (Cyanamida hidrogenada 520g.L<sup>-1</sup>) a 0,5%, juntamente com óleo mineral Triona (hidrocarbonetos 800mL.L<sup>-1</sup>) a 4,0%. Para a realização do tratamento



fitossanitário realizaram-se pulverizações quinzenais com Baycor (Bitertanol 250g.kg<sup>-1</sup>), na dosagem de 0,3%. As dosagens utilizadas previamente determinadas deram origem aos tratamentos citados na TABELA 4, e foram realizados da mesma forma com que se procedeu com o pomar de 4 anos.

TABELA 4 - DOSES DE ADUBO MINERAL OU ORGÂNICO APLICADAS EM CADA COVA DE PLANTIO DE MUDAS, DE ACORDO COM OS TRATAMENTOS UTILIZADOS.

| Tratamento | Lodo de<br>esgotos (kg) | Esterco de<br>carneiro (kg) | Calcário do-<br>lomítico (kg) | Superfosfato<br>simples (g) | Cloreto de<br>potássio (g) |
|------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| T1         | 20.51                   | -                           | 2.00                          | 940.0                       | 278.8                      |
| T2         | 15.40                   | 5.00                        | 2.00                          | 830.3                       | 228.0                      |
| T3         | 10.25                   | 10.00                       | 2.00                          | 720.2                       | 177.3                      |
| T4         | 5.13                    | 15.00                       | 2.00                          | 610.1                       | 126.6                      |
| T5         | -                       | 20.00                       | 2.00                          | 500.0                       | 300.0                      |
| T6         | -                       | -                           | -                             | -                           | -                          |

O delineamento utilizado foi de blocos ao acaso, com 5 repetições por tratamento e 5 plantas por parcela, totalizando 30 unidades experimentais. Foi realizada análise foliar, com determinação de macro e micronutrientes. As amostras foram coletadas em abril de 1997, antecedendo o estágio de dormência da cultura e conseqüentemente a queda de folhas. O método de comparação de médias foi idêntico ao realizado no experimento anterior.



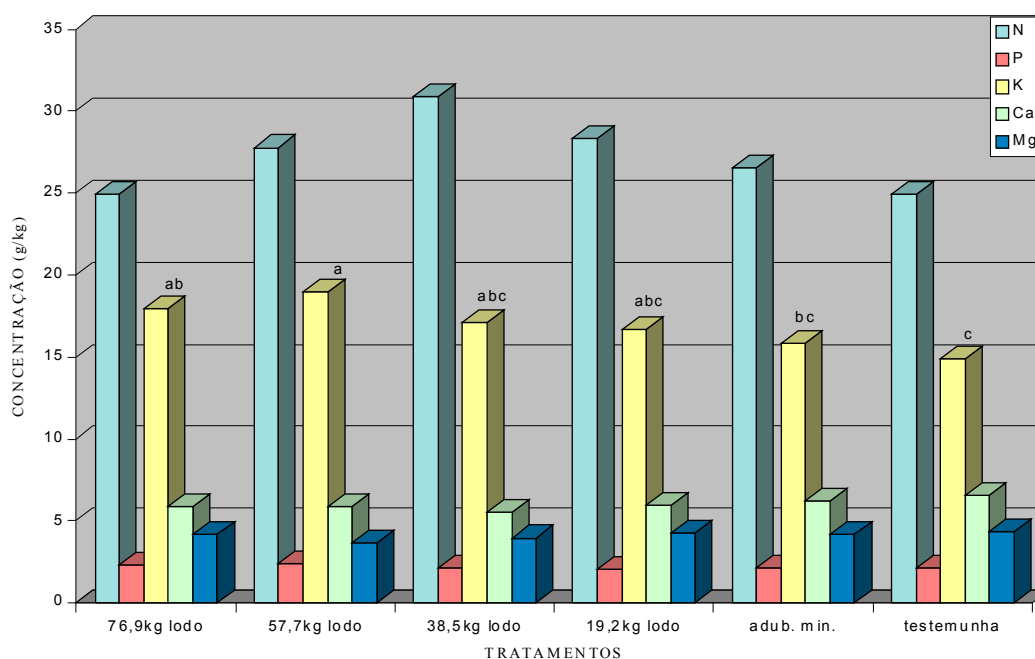
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 POMAR DE MACIEIRAS DE QUATRO ANOS

#### 4.1.1 Teores Foliare de Macronutrientes

Observando a FIGURA 1, verifica-se que todos os teores foliares de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) avaliados nos seis tratamentos estão dentro dos níveis ideais recomendados para a cultura da maçã (Anexo 1). Dentre estes elementos, notou-se que os resultados das avaliações realizadas para os teores de N, P, Ca e Mg, não apresentaram diferença significativa entre os seis tratamentos deste experimento (Anexo 4).

FIGURA 1 - TEORES FOLIARES MÉDIOS DE MACRONUTRIENTES DE POMAR DE MACIEIRA DE QUATRO ANOS (GALA / MM-106).



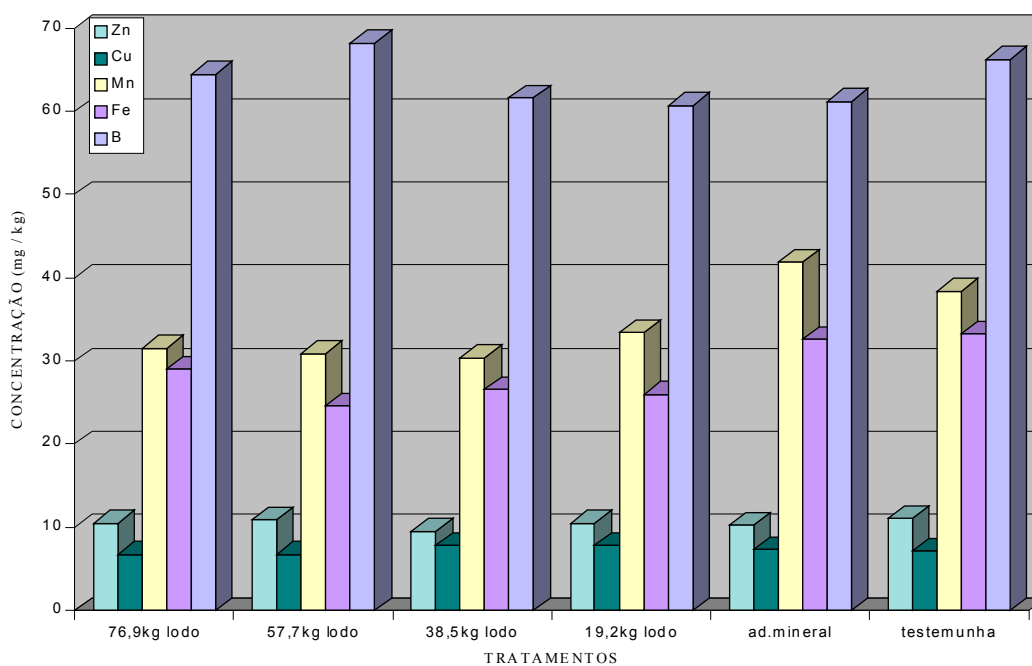
UTKHEDE (1984) encontrou resultados semelhantes aos obtidos neste ensaio, enquanto outros autores (COKER et al., 1982; SINGH et al., 1995; SOMMERS, 1977; EPSTEIN et al., 1976) notaram diferenças significativas no teor de N. Alterações foram encontradas nas folhas quanto ao teor de P (MISRA et al., 1995; BIDDAPPA et al., 1987; HANI et al., 1996; HINESLY et al., 1984; POWELL et al., 1988; DA ROS et al., 1993; HUE et al., 1988; EPSTEIN et al., 1976), observando um aumento da absorção de P acompanhado de aumento de produtividade. Muitos dados de aumento na absorção de nutrientes estão relacionados ao fato do lodo de esgotos ter sido a fonte fornecedora de nutrientes e matéria orgânica dos solos, causando melhoria nas qualidades físicas, químicas e biológicas do solo, atuando diretamente sobre a nutrição mineral dos vegetais (PONCELA, 1989).

Para as concentrações foliares de K também (EL DAWWEY, 1993; HINESLY e REDBORG, 1984; SINGH et al., 1995; DA ROS et al., 1993), sendo que alguns autores recomendam a complementação potássica via fertilizante mineral quando o lodo representa a única utilização como fonte nutricional para as plantas.

#### 4.1.2 Teores Foliares de Micronutrientes

Os teores dos micronutrientes Zn, Cu, Mn, Fe e B analisados nas folhas do pomar de quatro anos podem não mostraram diferenças significativas entre os tratamentos (FIGURA 2), embora todos os tratamentos, inclusive a testemunha, apresentem valores coerentes com os exigidos pela cultura não diferenciando inclusive da testemunha (MALAVOLTA et al., 1989).

FIGURA 2 - TEORES FOLIARES MÉDIOS DE MICRONUTRIENTES DE POMAR DE MACIEIRA DE QUATROS ANOS (GALA / MM106)



Devido ao fato do lodo de esgotos produzido na região metropolitana de Curitiba ter características de baixos resíduos de metais pesados, a absorção e conseqüentemente acúmulo

desses elementos nas folhas das plantas de macieira foram relativamente baixos, acarretando em teores foliares adequados para a cultura. Outro fator importante que deve ser levantado é em relação ao tratamento de calagem realizado no material tratado de lodo de esgotos, com a finalidade de reduzir a viabilidade de patógenos presentes no lodo. Este tratamento de calagem proporcionou, no lote de lodo utilizado no experimento, uma elevação de pH para 11,8, o que, possivelmente, afetou a disponibilidade e conseqüentemente a absorção dos micronutrientes avaliados no experimento. A incorporação dos adubos orgânico e mineral utilizados no experimento, em virtude da superficialidade do sistema radicular das macieiras, também foi de forma superficial, o que, diante da imobilidade desses micronutrientes no solo, pode ter influenciado a absorção.

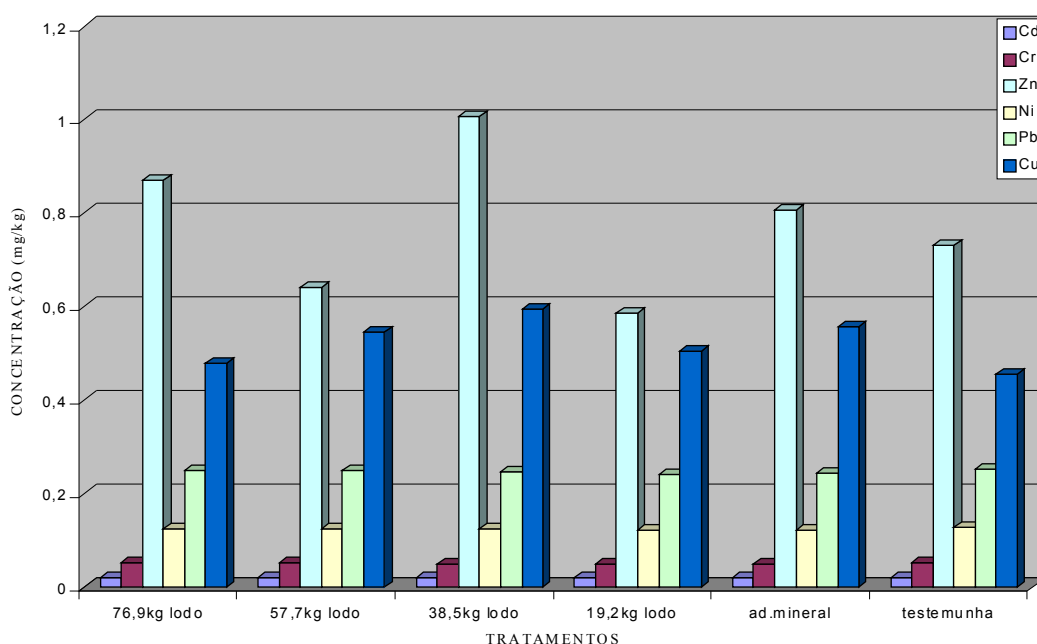
Características como origem do lodo, doses de aplicação e pH do solo e do lodo foram observadas por HECKMAN et al.(1987), que notaram a interferência do tipo de lodo utilizado, bem como da concentração dos micronutrientes e metais pesados contidos no material, em função dos parâmetros citados (SMITH, 1994; TANNOUX et al., 1993; HECKMAN et al., 1987). De acordo com estes autores, estes fatores exercem forte interferência na absorção dos micronutrientes, o que justifica as concentrações destes elementos encontradas neste ensaio devido ao fato deste lodo ser originado a partir de resíduos domésticos, como ocorreu em outros ensaios (METCALFE, 1984; METCALFE e LAVIN, 1991; MORRISON e HARDELL, 1982; CAVEY e BOWLES, 1982).

#### 4.1.3 Teores de Metais Pesados nos Frutos

Os teores dos metais pesados Cd, Cr, Zn, Ni, Pb e Cu analisados nos frutos foram todos significativamente iguais à testemunha (FIGURA 3). Isto permite dizer que os frutos desenvolvidos de plantas de maçã da variedade Gala enxertadas em MM-106, adubadas com lodo de características químicas e dosagem semelhantes às utilizadas no experimento, com aplicação na fase de florescimento, não proporcionaram aumento nos teores de metais pesados.

A causa disso pode ser explicada pelo fato de que o lodo de esgotos produzido na região metropolitana de Curitiba possui características de baixos resíduos de metais pesados, e aliado ao fato do lodo utilizado apresentar pH de 11,8, com o propósito de se eliminar riscos oferecidos por diversos patógenos presentes no lodo de esgotos, são fatores que parecem provocar menor disponibilidade de metais pesados no momento da absorção dos mesmos pelas raízes das plantas, acarretando em menor concentração dos mesmos nos frutos.

FIGURA 3 - TEORES MÉDIOS DE METAIS PESADOS EM FRUTOS COLETADOS DO POMAR DE MACIEIRA DE QUATRO ANOS (GALA / MM-106).



O período de avaliação dos frutos, realizada na primeira safra após a aplicação, leva em conta apenas o efeito imediato da aplicação do lodo de esgotos como fertilizante. Haveria necessidade da continuidade desta pesquisa com a finalidade de se avaliar o efeito residual da absorção de metais pesados desta aplicação, bem como os efeitos relacionados aos parâmetros de produtividade da cultura, uma vez que se trata de uma pesquisa envolvendo plantas perenes.

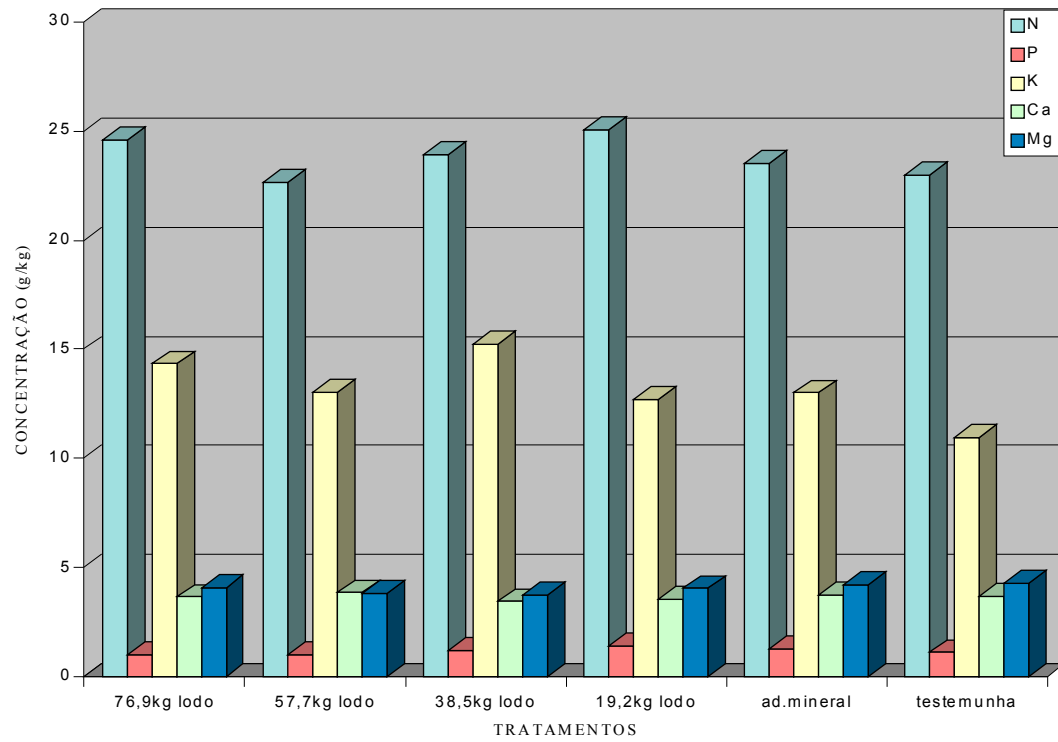
## 4.2 MUDAS DE MACIEIRA

### 4.2.1 Teores Foliares de Macronutrientes

Analisando-se a FIGURA 4 que traz estes dados, pode-se verificar que não houve diferença significativa entre os macronutrientes analisados N, P, K, Ca e Mg, entre os tratamentos à base de adubo mineral, esterco de carneiro e calcário, todos realizados na cova de plantio, em comparação com a testemunha.



FIGURA 4 - TEORES FOLIARES MÉDIOS DE MACRONUTRIENTES MUDAS DE MACIEIRA (GALA / MM-106).



Alguns autores verificaram que o fornecimento de lodo de esgoto como adubo orgânico não acarretou em aumentos significativos de elementos como N, P, K, Ca e Mg (KING e MORRIS, 1972; MELSTED, 1973; SOMMERS, 1977; HINESLY e REDBORG, 1984). O fornecimento dos macronutrientes, principalmente de N e P, foi realizado mediante a suposição de que apenas 50% do teor desses elementos contidos no lodo estariam prontamente disponíveis às raízes das plantas.

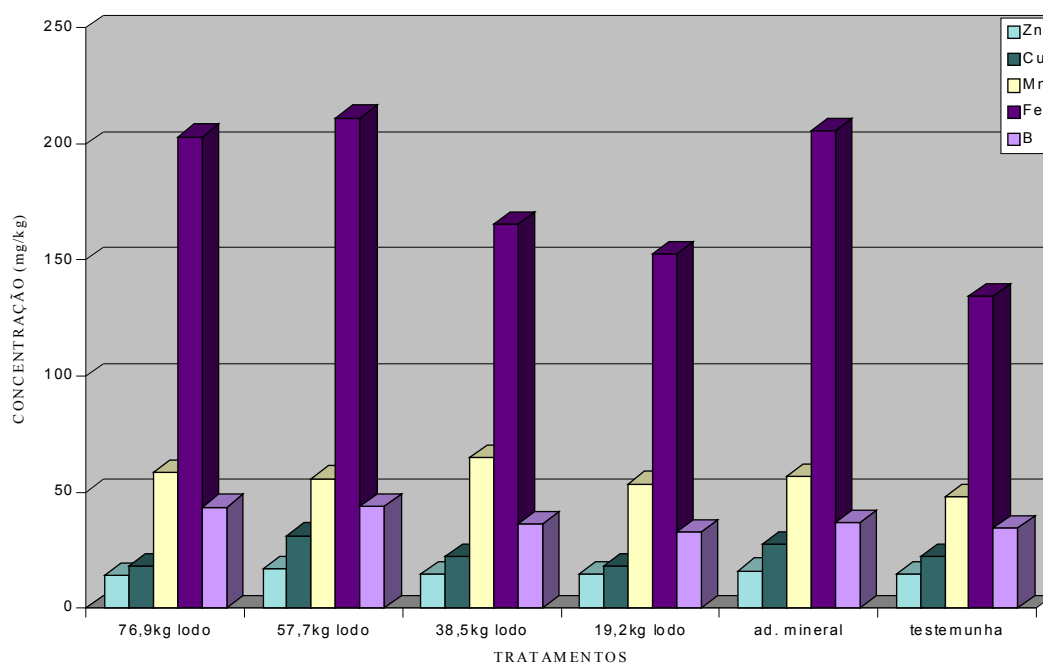
BIDDAPPA et al. (1987) observou significativas diminuições na absorção dos elementos P, K e Mg na presença dos metais pesados, sendo a de K mais especificamente pela presença dos elementos Al, Cd e Ba; a diminuição de Ca, pela presença de Se e Pb, e o Mg, principalmente pela atuação de Al e Cr. MISRA et al. (1995) também verificaram uma diminuição na absorção de fosfato quando se aumentou as concentrações de lodo, e consequentemente as concentrações de Cd, Cr e Pb. Outra hipótese que pode ter ocorrido é o que constatou BERTON (1992), onde o P presente no lodo está sujeito à formação de compostos insolúveis com alguns metais pesados, principalmente Fe, Al, Zn, Pb.

Embora os teores foliares dos elementos N, Ca e Mg estejam dentro dos teores considerados adequados para a cultura da macieira, o mesmo não acontece com os elementos P e K, que estão abaixo dos valores padrões (MALAVOLTA et al., 1989). A maioria das pesquisas que utilizaram lodo como fonte de adubação orgânica, mesmo verificando aumentos significativos de determinados macronutrientes nas plantas analisadas, recomendam que se utilize, além desta fonte orgânica de nutrientes, uma segunda fonte mineral com a intenção de suplementar as necessidades das plantas (DA ROS et al., 1993; OLIVEIRA et al., 1995).

#### 4.2.2 Teores Foliares de Micronutrientes

Da mesma forma para macronutrientes, o teor foliar dos elementos Zn, Cu, Mn, Fe e B não diferenciou estatisticamente entre os tratamentos em relação ao recomendado à base de esterco de carneiro e também em relação à testemunha (FIGURA 5). Dos micronutrientes analisados, com exceção do B, todos os outros são considerados ainda metais pesados.

FIGURA 5 - TEORES FOLIARES MÉDIOS DE MICRONUTRIENTES DE MUDAS DE MACIEIRA (GALA/ MM106)



Níveis de metais pesados encontrados no lodo de esgotos utilizado em adubações orgânicas para algumas espécies vegetais, não aumentaram a concentração destes elementos trazendo como consequência riscos de contaminação, em comparação com a testemunha (DAVIS e BECKETT, 1978; CAVEY e BOWLES, 1982; MORRISON e HARDELL, 1982; METCALFE, 1984; METCALFE e LAVIN, 1991), nas culturas de *Festuca arundinaceae*, *Plararis arundinaceae*, *Agrostis giganteae*, centeio e gramíneas.

Outros experimentos contrariam os resultados obtidos anteriormente, onde pesquisadores encontraram aumentos significativos de alguns metais pesados em relação à testemunha. Foi o que verificaram HUE et al. (1988) com aumentos de Zn, Cd e Ni na cultura da alface; BOON e SOLTANPOUR (1992) em *Brasica oleracea*, SIKORA e WOLT (1986) na cultura do milho, KIM et al. (1988) trabalhando com acelga suíça, MULLINS e SOMMERS (1986) para os elementos Zn e Cd no solo; SIMS e KLINE (1991) para Cu, Ni e Zn na cultura da soja; DOMINIQUE et al. (1993) para o elemento Zn; CHANEY et al. (1994) para os elementos Zn, Cd, Ni, Mn e Co, em pesquisas com alface; HECKMAN et al. (1987) para Zn, Cd, Cu e Ni utilizando lodo obtido por digestão em plantas de soja; LEVINE et al. (1989) para Cu e Zn com as culturas de *Setaria faberii* e *Rubus frondosus*; KRASNIAK (1994) para Pb, Ni, Cd e Cr no solo; BUTTIGIEG et al. (1989) em ressemeadura de pastagem para os elementos Cu, Zn e Ni; e TANNOUX et al. (1993) para metais pesados em geral, exceto Pb, Ni, Cr e Cd na cultura de milho.

De acordo com MALAVOLTA et al. (1989), o teor dos elementos, de certa forma, se encontram dentro dos teores foliares adequados para a cultura da macieira. O micronutriente Cu foi o único elemento que apresentou maiores valores aos adequados à cultura (5 a 10 ppm), e mesmo assim seu teor nos frutos de maçã não mostrou trazer maiores problemas para

o consumo dos mesmos, uma vez que o teor encontrado se encontra abaixo do permitido para consumo.

O lodo de esgotos produzido na região metropolitana de Curitiba possui baixos teores de micronutrientes considerados como metais pesados, e portanto a absorção e conseqüentemente acúmulo desses elementos nas folhas das plantas de macieira foram relativamente baixos, acarretando em teores foliares adequados para a cultura. Em se tratando da calagem realizada no lodo de esgotos, como procedimento corriqueiro para se reduzir a viabilidade de patógenos presentes no lodo, esta proporcionou um pH de 11,8, o que possivelmente inviabilizou a disponibilidade e conseqüentemente a absorção dos micronutrientes quando aplicado no solo considerado (pH de 5,82) para avaliação no experimento.



## 5 CONCLUSÕES

Os teores foliares dos macronutrientes N, P, Ca e Mg não foram afetados pelos tratamentos à base de lodo de esgotos, nas dosagens de 19,2 kg a 76,9 kg por planta, para as análises realizadas no pomar de macieira de quatro anos de idade.

Dos tratamentos de adubação realizados com lodo de esgotos, no pomar de macieira de quatro anos, nas dosagens de 57,7 e 76,9 kg de lodo por planta foram observados teores foliares de K significativamente maiores à testemunha.

As dosagens de lodo de esgotos utilizadas não proporcionaram aumento nos teores de metais pesados detectados nos frutos, para os frutos de maçã analisados do pomar de quatro anos.

Os teores foliares dos macronutrientes N, P, K, Ca e Mg, e dos micronutrientes Zn, Cu, Mn, Fe e B não foram influenciados pelos tratamentos testados à base de lodo de esgotos, nem à base de esterco de carneiro, nas dosagens utilizadas, para as análises realizadas com mudas de macieira.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal, FUNEP, 2ª. edição, 247 p., 1992.

BERTON, R.S. Fertilizantes e Poluição. **XX Reunião Bras. de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas**, Campinas, Fundação Cargill, p. 299 - 313, 1992.

- BIDDAPPA, C. C.; KHAN, H. H.; JOSHI, O. P.; MANIKANDAN, P. Effect of rootfeeding of heavy metals on the leaf concentration of P, K, Ca and Mg in coconut (*Cocos nucifera*). **Plant and Soil**, v. 101, p. 295 - 297, 1987.
- BLESSIN, C.W. ; GARCIA, W. J. **Heavy metals in the food chain by translocation to crops grown on sludge - treated strip mine land.** In: Utilization of Municipal Sewage Effluent and Sludge on Forest and Disturbed Land, W.E. Sopper and S.N. Kerr, Eds.(University Park, PA: The Pennsylvania State University Press, p. 471-482, 1979.
- BOESCH, M.J. Reclaiming the strip mines at Palzo. **Compost Sci.**, v. 15, n. 1, p. 24-25, 1974.
- BON, D. Y. ; SOLTANPOUR , P.N. **Lead, Cadmium, and zinc contamination of Aspen\_garden soils and Vegetation** . 21: 82-86, 1992.
- BOYLE, M.; FULLER, W.H. Effect of Municipal solid waste leachate composition on Zinc Migration through soils. **Journal Environment Quality**, v. 16, n. 4, p. 357 - 360, 1987.
- BRAGG, N. C.; WALKER, J. A. R.; STENTIFORD, E.; TATTINI, M. The use of composted refuse and sewage as substrate additives for container grown plants. **Acta Horticulturae**, n. 342, p. 155 - 165, 1993.
- BURGE, W.D.; COLACICCO, D.; CRAMER, W.N. Criteria for achieving pathogen destruction during composting. **Journal of Water Pollution Control**, v. 53, n. 12, p. 1683-1689, 1981.
- BUTTIGIEG, A.D.; KLESSA, D.A.; HALL, D.A. The effects of heavy metal applied in digested sewage sludge to grassland. **Proceedings of the XVI international Grassland Congress**, v. 4 - 11, Nice, France, p. 1635 - 1636, October, 1989.
- CATZEFLIS, J. No-tillage of the space between rows in arboriculture, compared with grassing down. **Revue Suisse de Viticulture**, v. 20, n. 5, p. 313-315, 1988.
- CAVEY, J. V., BOWLES, J. A. **Use of sewage sludge to improve taconite tailings as a medium for plant growth.** In: Land Reclamation and Biomass Production Wint Municipal Wastwater and Sludge, W.E. Sopper, E. M. Seaker, and R. Bastian, Eds.University Park, PA: the Pennsylvania State University Press, p. 400-409, 1982.
- CHAIBVA, S. The environmental implications of the disposal of domestic sewage to land. **Science News**, Zimbabwe, v. 27, n. 4 - 6, p. 39 - 41, 1993.
- CHANEY, R.L.; CLLAP, C.E.; LARSON, W.E.; DOWDY, R.H. Trace metal movement: soil plant systems and bioavailability of biosolids - applied metals. **Sewage sludge - land utilization and the environment**: Sheraton Airport Inn, Bloomington, MN, USA, n. 11 - 13, , p. 27 -31, August, 1993 / 1994
- COKER, E. G., DAVIS, R.; HALL,J. E.; CARLTON-SMITH, C. H. **Field experiments on the use of consolidated sewage sludge for land reclamation:** Effects on crop yield and composition and soil conditions. Technical Report TR 183, Water Research Centre



- Medmenham, U.K., p. 1976-1981, 1982.
- COX, D.A. Pelletized sewage sludge as a fertilizer for containerized plants: plant growth and N leaching losses. **Journal of Plant Nutrition**, v. 18, n. 12, p. 2783 -2795, 1995.
- DA ROS, C.O. et al. Lodo de esgoto: efeito imediato no milho e residual na associação aveia- ervilhaca. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, p. 257-261, 1993.
- DAVIS, R. D. and P.H.T. BECKETT. Upper critical levels of toxic elements in plants II. Critical levels of copper in young barley and ryegrass. **New Phytol.** N. 80, p. 23-32. 1978.
- DE FELIPE, B.V. et al. Eficiência Agronômica do lodo de esgoto proveniente de uma indústria siderúrgica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 389-393, 1991.
- DOMINIKES, H.; PIRES, F.P.; MONTEIRO, O.; SIQUEIRA, E.; GALLARDO - LANCHO, J.F. Aplicação de lamas residuais de elevado teor em Cobre em 2 solos derivados de xisto. **Actas de 12 Congresso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo**, Salamanca, Sevilla ( España), p. 1264 - 1270, 1993.
- EL DAWWEY, G.M. Effectiveness of sewage sludges and basic slag on wheat plants grown in sandy calcareous and loamy soils. **Assiut Journal of Agricultural Sciences**, v. 24, n. 4, p. 171 - 184, 1993.
- EMBRAPA-CNPT. **Recomendações de Adubação e Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Passo Fundo, RS, 128p., 1989.
- EPSTEIN, E.; TAYLOR, J.M.; CHANEY, R.L. Effects of Sewage Sludge and Sludge Compost Applied to Soil on some Soil Physical and Chemical Properties. **Journal Environment Quality**, v. 5, n. 4, p. 422-426, 1976.
- FERRIER, R.C.; EDWARDS, A.C.; DUTCH, J.; WOLSTENHOLME, R.; MITCHELL, D.S.  
Sewage sludge as a fertilizer of pole forests: short-term hydrochemical fluxes and foliar response. **Soil Use and Management**, v. 12, n. 1, p. 1-7, 1996.
- FEUERBACHER, T.A., BARNHISEL, R. I.; ELLIS, M. D. **Utilization of sewage sludge as a spoil amendment in the reclamation of land surface mined for coal**. In: Proc. Symp. on Surface Mining Hydrol., and Reclamation, University of Kentucky, Lexington, p.187-192, 1980.
- GRIEBEL, G. E.; ARMINGER, W. H.; PARR, J. F.; STECK, D. W.; ADAM, J. A. **Use of composted sewage sludge in revegetation of surface-mined areas**. In: Utilization of Municipal Sewage Effluent and Sludge on Forest and Disturbed Land, W.E. Sopper and S.N. Kerr, (University Park, PA: The Pennsylvania State University Press, p. 293-306, 1979.

- HAGHIRI, F.; SUTTON, P. **Vegetation establishment on acidic mine spoils a influenced by sludge applicatiion**. In: Land Reclamation and Biomass Production with Municipal Wastewater and Sludge, W.E. Sopper, E.M. Seaker and R.K. Bastian, Eds. (University Park, PA: The Pennsyvalnia State University press, p. 433-46, 1982.
- HANI, H.; SIEGENTHALER, A.; CANDINAS, T. Soil effects due to sewage sludge application in agriculture. **Fertilizer Research**, v. 43, n. 1-3, p. 149-156, 1996.
- HECKMAN, J.R.; ANGLE, J.S.; CHANEY, R.L. Residual effects of sewage sludge on soybean: I. Accumulation of heavy metal. **Journal Environment Quality**, v. 16, n. 2, p. 113-117, 1987.
- HENRY, C.L.; COLE, D.W.; HINCKLEY, T.M.; HARRISON, R.B. The use of municipal and pulp and paper sludges to increase production in forestry. **Journal of Sustainable, Forestry**, v. 1, n. 3, p. 41-55, 1993.
- HILDEBRAND, C. Manual de análise química de solos e plantas. UFPR- SCA- Curso de Engenharia Florestal - Convênio de Freiburg. Curitiba (PR), 224p., 1976/ 77.
- HILL, R. D.; HINKLE, K.; KLINGENSMITH, R. S. **Reclamation of orphand mined lands with municipal sludges - case studies**. In: Utilização of Municipal Sewage Effluent and Sludge on Forest and Disturbed Land, W.E. Sopper and S.N. Kerr, Eds. (University Park, PA. The Pennsylvania State University Press, p. 423-43, 1979.
- HINESLY, T. D., REDBORG, D. E.; ZIEGLER, E. L.; ROSE-INNES, I. H. **Effects of chemical and physical changes in strip-mined amended with sewage sludge on the uptake of metals by plants**. In: Land Reclamtion And BiomasProduction with Municipal Wastewater and Sludge. W. E. Sopper, E.M. Seaker, and R.K. Bastian, Eds. (University Park, P.A: The Pennsylvania State University Press, p.339-352, 1982.
- HINESLY, T.D., ZIEGLER, E. L.; BARRET, G. L. Residual effects of irrigated with digested sewage sludge. **Journal Environment Quality**, p. 835-38 , 1979.
- HINESLY, T. D.; REDBORG, K.E.; PIETZ, R.I.; ZIEGLER, E.L. Cadmium and zinc uptake by corn (*zea mays L.*) with repeated applications of sewage sludge. **Journal Agric. and Food Chem.**, v. 32, p. 155-163, 1984.
- HORNICK, S. B. **Crop production on waste amended gravel spoils**. In: Land Reclamation and Biomass Production with Municipal Wastewater and Sludge. W.E.Sopper,E.M. Seaker, and R. K. Bastian, Eds. (University Park, P.A: The Pennsylvania State University Press, p. 207-218, 1982.
- HUE, N.V.; ARIFIN, R. Sewage sludgesoil interactions as measured by plant and soil chemical composition. **Journal Environment Quality**., v. 17, n. 3, p. 384-390, 1988.

- JOOST, R.E.; JONES, J. H.; OLSEN, F. J. **Physical and chemical properties of coal refuse as affected by deep incorporation of sewage sludge and/or limenstone.** In: Proc. Symp. on Surface Mining Hydrol., Sedimentol., and University Reclamtion, University of Kentucky, Lexington, p. 307-312, 1981.
- KARDOS, L. T. ; SOPPER, W.E.; EDGERTON, B.R.; DILISSIO, L. E. **Sewage effluent and liquid digested sludge as aids to revegetation on strip mine spoil and anthracite coal refuse banks.** In: Utilization of Municipal Sewage and sludge on Forest and Disturbed Land, W. E. Sopper and S. N. Kerr, EDS, (University Park, PA: The Pennsylvania State University Press, p.315-32, 1979.
- KIM, S.J.; CHANG, A.C.; PAGE, A.L.; WARNEKE, J.E. Relative concentrations of Cadmium and Zinc in tissue of selected food plants grown on sludge-treated soils. **Journal Environment Quality**, v. 17, n. 4, p. 568-573, 1988.
- KING, L.D.; MORRIS, H.D. Land Disposal of Liquid Sewage Sludge: II. The effect on Soil Ph, Manganese, Zinc, and Growth and Chemical Composition of Rye. **Journal Environment Quality**, v. 1, n. 4, p. 425 -429, 1972.
- KORCAK, R. F. Growth of apple seedlings on sludge-amended soils in the greenhouse. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 17, n. 10, p. 1041-1054, 1986.
- KRASNIAK, S.N. Mobility of heavy metals in soddy podzolic soil when applying nonconventional fertilizers. **Russian Agricultural Sciences**, n. 11, p. 37-39, 1994.
- LEVINE, M. B.; HALL, A.T.; BARRETT, G. W.; TAYLOR, D. H. Heavy metal concentrations during ten years of sludge treatment to an old-field community. **Journal Environment Quality**, v. 18, p. 411-418, 1989.
- LOGAN, T.J.; CHANG, A.C.; PAGE, A.L.; GANJE, T.J. Accumulation of Selenium in crops grown on sludge-treated soil. **Journal Environment Quality**., v. 16, n. 4, p.349 - 352, 1987.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 201p., 1989.
- MATHIAS, E. L.; BENNETT, O.L.; LUDNDEBERG, P.E. **Use of sewage sludge to establish tall fescue on strip mine in West Verginia.** In: Utilization of Municipal Sewage Effluent and sludge on Forest and Disturbed Land, W.E. Sopper and S.N. Kerr, Eds. (University Park, PA: The Pennsylvania State University Press), p.307-314, 1979.
- MARTINS, M. T.; SANCHES, P. S. Caracterização microbiológica de lodos de esgotos e fertilizante organo-mineral. **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Santa Catarina, v. 2, 1983.
- MELSTED, S. W. **Soil-planet relationships.** In: Recyling Sludge and Effluents on Land. Washington, DC: National Assoc. of. State Univ. and Land-Grant Colleges, p.121-

128, 1973.

- METCALFE, B. The use of consolidated sewage sludge as a soil substitute in colliery spoil reclamation. **Water Poll. Control**, v. 83, p. 288-299, 1984.
- METCALFE, B.; LAVIN, J. C. **Consolidated sewage sludge as a soil substitute in colliery spoil reclamation**. In: Alternative uses for Sewage Sludge, J.E. Hall, Ed. Oxford, U.K. Pergamon press, p. 83-96, 1991.
- MISRA, S.G.; DINESH, M.; MANI, D. Uptake of pollutants from sewage-sludge as affect by phosphate addition. **Environment and Ecology**, v. 13, n. 2, p. 197-299, 1995.
- MIYAZAWA, M. **Metais pesados no solo e na planta**. Instituto Agronômico do Paraná, Londrina-PR, 20p, 1997.
- MORRISON, D. G.; HARDELL, J. **The response of native herbaceous prairie species on ironore tailings under different rates of fertilizer and sludge application**. In: Land Reclamation and Biomass Production with Municipal Wastewater and Sludge, W.E. Sopper, E. M. Seaker And R.K. Bastian, Eds. (University Park, PA: The Pennsylvannia State University Press), p.410- 420, 1982.
- MORTVEDT, J. J. Heavy metal contaminants in inorganic and organic fertilizers. **Fertilizer Research**, v. 43, n. 1-3, p. 55-61, 1996.
- MULLINS, G.L.; SOMMERS, L.E. Characterization of Cadmium and Zinc in four soils treated with sewage sludge. **Journal Environment Quality**, v. 15, n. 4, p. 382-387, 1986.
- OLIVEIRA, F.C.; MARQUES, M.O.; BELLINGIERI, P.A.; PERECIN, D. Lodo de esgoto como fonte de macronutrientes para a cultura do sorgo granífero. **Sci. Agric.**, Piracicaba, v. 52, n. 2, p. 360-367, mai/ago-1995.
- PIERZYNSKI, G.M.; JACOBS, L.W. Molybdenum accumulation by corn and soybeans from a Molybdenum-rich sewage sludge. **Journal Environment Quality**, v. 15, n. 4, 1986.
- POMMEL, B. Value of a heat - treated sludge in the phosphorus fertilization. **European Journal of Agronomy**, v. 4, n. 3, p. 395-400, 1995.
- POWELL, J. L.; BARNHISEL, R. I.; CRAIG, F. A.; ARMSTONG, J. R.; ELLIS, M. L.; THOM, W.O. **The use of organic amendments in the resstoration of prime farmland**. In: New Horizons in Mined Land Reclamation, J. Harper and B. Plass Eds., Proc. Natl. Meet. Am Soc. Surface Mining and Reclamtion, Princeto, p. 55 - 60, Wv (1988).
- ROVIRA, P. S.; SOLER, J.S.; ROVIRA, J.S.; POLO, A. Agricultural use of sewage sludge and its regulation. **Fertilizer Research**, v. 43, n. 1-3, p.173-177, 1996.
- SIKORA, F.J.; WOLT, J. Effect of Cadmium - and Zinc - treated sludge on yield and

- Cadmium-Zinc uptake of corn. **Journal Environment Quality**, v. 15, n. 4, p. 341-345, 1986.
- SIMS, J. T.; KLINE, J.S. Chemical Fractionation and Plant Uptake of Heavy Metals in Soils Amended With Co-Composted Sewage Sludge. **Journal Environment Quality**, v. 20, p. 387-395, 1991.
- SINGH, D.; RANA, D.S.; PANDEY, R.N.; CHAUHAN, I.S. Yield response of fodder sorghum, maize and cowpea to varying N P K doses under waste water irrigation on Mollisols of western Uttar Pradesh. **Annals of Agricultural Research**, v. 16, n. 4, p.522-524, 1995.
- SKOUSEN, J. G. **Effects of sewage of sewage sludge application on a revegetated minesoli in West Virginia**. Mine drainage and surface mine reclamation, Vol. II, U.S.D.I. Bureau of Mines Information Circular 9184, p. 214-220, 1988.
- SMITH, S. R. Effects of soil pH on availability to crops of metals in sewage sludge treated soils: Nickel, Copper and Zinc uptake and toxicity to ryegrass. **Environmental Pollution**, United Kingdom, n. 85, p. 321-327, 1994.
- SOLOV'EV, I.S.; KHOMYAKOV, D.M. Ecological aspects of using sewage sludge as fertilizer in apple orchards. **Soviet Agricultural Sciences**, n. 6, p. 30-33, 1989.
- SOMMERS, L.E. Chemical Composition of Sewage Sludges and analysis of their potential use as Fertilizers. **Journal Environment Quality**, v. 6, n. 2, p. 225-232, 1977.
- SOPPER, W. E. **Municipal sludge use in land reclamation**. New York, Lewis Publishers, 163 p, 1993.
- SOPPER W. E. **Revegetation of burned anthracite coal refuse banks using municipal sludge**. Proceedings of the 1990 National Symposium on Mining, University of Kentucky, Lexington, KY , p.37-42, 1990.
- SOPPER W. E.; KERR, S. N. **Mine land reclamation with municipal sludge - Pennsylvania's demonstration program**. In: Land Reclamation and Biomass Production with Municipal Wastewater and Sludge, W.E. Sopper, E.M. Seaker, and R.K. Bastian, Eds. (University Park, PA: The Pennsylvania State University Press), p. 55-74, 1982.
- SOPPER W. E.; SEAKER, E. M. **Strip mine reclamation with municipal sludge**. Final Technical Report on Contract No CR 807408010, Municipal Environmental Research Lab. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Oh (1982), p. 194.
- STROO, H.F. ; JENCKS, E. M. Effect of Sewage Sludge on Microbial Activity in an Old, Abandoned Minesoil. **Journal Environment Quality**, v. 14, n. 3, p. 301-304, 1985.
- STUCKY, D.J.; NEWMAN, T. S. Effect of dried anaerobically digested sewage sludge on yield elemental accumulation in tall fescue and alfalfa. **Journal Environment Quality**,

v. 6, n. 3, p. 271-274, 1977.

STUCKY, D.J.; BAUER, J. H.; LINDSEY, T. C. Restoration of acidic mine spoils with sewage sludge. **Reclamation Rev.**, v. 3, p. 129-139, 1980.

SUTTON, P.; VIMMERSTEDT, J. P. Threat stripmine spoils with sewage sludge. **Compost Sci.**, v. 15, n. 1, p. 22-23, 1974.

TANNOUX, N.; MARCANO, D.; VILLEGAS, D.R.; PONCE DE LEON, D.J. **Memorias del XI Congr. Latinoamericano y II Congr. Cubano de la Ci. Solo.** v. III: Fertilidad y uso de los fertilizantes, v. 11-17, Marzo 1990, La Havana, Cuba, p. 879 - 886, 1993.

TUNISON, K. W.; BEARCE, B.C.; MENSER Jr., H. A. Q. **The utilization of sewage sludge:** bark screenings compost for the culture of blueberries on acid minespoil. In: Land Reclamation And Biomass production with municipal Wastewater and Sludge, W.E. Sopper, E.M. Seaker, and R.K. Bastian, Eds. 9University Park, PA: The Pennsylvania State University Press, p. 195-206, 1982.

UTKHEDE, R.S. Effect of nitrogen fertilizers and wood composts on the incidence of apple crown rot in British Columbia. **Canadian Journal of Plant Pathology**, v. 6, n. 4, p. 329-332, 1984.

UTKHEDE, R.S.; SMITH, E.M. Evaluation of biological and chemical treatments for control of crown gall on young apple trees in the Kootenay valley of British Columbia. **Journal of Phytopathology** , v. 137, n. 4, p. 265-271, 1993.

VAN RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Boletim Técnico n ° 100.** 2ª ed. Revisada e atualizada. Campinas (SP), 285p., 1997.

## **ANEXOS**

**ANEXO 1 - TEORES TOTAIS DE MACRONUTRIENTES CONSIDERADOS  
ADEQUADOS PARA A CULTURA DA MACIEIRA (ANÁLISE FOLIAR).**

| <b>N</b>      | <b>P</b>    | <b>K</b>  | <b>Ca</b> | <b>Mg</b> | <b>S</b>  |
|---------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <hr/>         |             |           |           |           |           |
| <b>(g/kg)</b> |             |           |           |           |           |
| 2,3 - 2,5     | 0,20 - 0,25 | 1,5 - 2,0 | 1,4 - 2,0 | 0,2 - 0,4 | 0,2 - 0,3 |

FONTE: MALAVOLTA et al., 1989.

**ANEXO 2 - TEORES TOTAIS DE MICRONUTRIENTES CONSIDERADOS  
ADEQUADOS PARA A CUTURA DA MACIEIRA (ANÁLISE FOLIAR).**

| <b>B</b>                    | <b>Cu</b> | <b>Fe</b> | <b>Mn</b> | <b>Mo</b>   | <b>Zn</b> |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|
| <hr/>                       |           |           |           |             |           |
| <b>(mg.kg<sup>-1</sup>)</b> |           |           |           |             |           |
| 30 - 65                     | 5 - 10    | 100 - 200 | 50 - 100  | 0,15 - 0,30 | 25 - 30   |

FONTE: MALAVOLTA et al., 1989.

**ANEXO 3 - CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS NO SOLO, NA PLANTA E NA  
DIETA DOS ANIMAIS (TEORES TOTAIS, EM mg.kg<sup>-1</sup>).**

|          | Nível      | Nível               | Nível                  | Nível tóxico | Nível crítico         |
|----------|------------|---------------------|------------------------|--------------|-----------------------|
| Elemento | fitotóxico | máximo              | normal/                | ou excessivo | na dieta              |
|          | no solo    | aceitável no        | suficiente nas         | nas plantas  | animal <sup>(2)</sup> |
|          |            | solo <sup>(3)</sup> | plantas <sup>(1)</sup> |              |                       |
| Cd       | 3 - 8      | 1 (3)               | 0,05 - 0,2             | 5 - 30       | 0,5 - 1,0             |
| Cr       | 75 - 100   | 50 (100)            | 0,1 - 0,5              | 5 - 30       | 50 - 3000             |
| Cu       | 60 - 125   | 50 (100)            | 5 - 30                 | 20 - 100     | 30 - 100              |
| Ni       | 100        | 30 (50)             | 0,1 - 5,0              | 10 - 100     | 50 - 60               |
| Pb       | 100 - 400  | 50 (100)            | 5 - 10                 | 30 - 300     | 10 - 30               |
| Zn       | 70 - 400   | 150 (300)           | 27 - 150               | 100 - 400    | 500                   |

FONTE: KABATA-PENDIAS e PENDIAS (1992) e MENGUEL e KIRKBY (1987).

<sup>(1)</sup> Tecido foliar maduro de várias espécies não muito tolerantes e nem muito sensíveis.

<sup>(2)</sup> Concentrações acima deste nível são consideradas tóxicas aos animais.

<sup>(3)</sup> Concentração máxima aceitável em solos tratados com lodo de esgotos pela Comissão Econômica Européia. Os valores entre parênteses são obrigatórios.

**ANEXO 4 - ANOVA PARA OS DADOS DE TEORES FOLIARES DE MACRO (g.kg<sup>-1</sup>) E  
MICRONUTRIENTES (g.kg<sup>-1</sup>), EM POMAR DE MACIEIRA DE QUATRO  
ANOS.**

**1. Nitrogênio**

| <b>Causa da</b> | <b>Graus de</b> | <b>Quadrado</b> |
|-----------------|-----------------|-----------------|
|-----------------|-----------------|-----------------|



| <b>Variação</b> | <b>Liberdade</b> | <b>Médio</b> |
|-----------------|------------------|--------------|
| Tratamentos     | 5                | 31.188       |
| Repetição       | 5                | 53.496       |
| Resíduo         | 25               | 36.362       |

## 2. Fósforo

| <b>Causa da<br/>Variação</b> | <b>Graus de<br/>Liberdade</b> | <b>Quadrado<br/>Médio</b> |
|------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| Tratamentos                  | 5                             | 0.095                     |
| Repetição                    | 5                             | 0.334                     |
| Resíduo                      | 25                            | 0.042                     |

## 3. Potássio

| <b>Causa da<br/>Variação</b> | <b>Graus de<br/>Liberdade</b> | <b>Quadrado<br/>Médio</b> |
|------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| Tratamentos                  | 5                             | 12.798**                  |
| Repetição                    | 5                             | 10.557                    |
| Resíduo                      | 25                            | 3.067                     |

## 4. Cálcio

| <b>Causa da<br/>Variação</b> | <b>Graus de<br/>Liberdade</b> | <b>Quadrado<br/>Médio</b> |
|------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| Tratamentos                  | 5                             | 0.723                     |
| Repetição                    | 5                             | 5.523                     |
| Resíduo                      | 25                            | 3.092                     |

## 5. Magnésio

| <b>Causa da<br/>Variação</b> | <b>Graus de<br/>Liberdade</b> | <b>Quadrado<br/>Médio</b> |
|------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| Tratamentos                  | 5                             | 0.350                     |
| Repetição                    | 5                             | 0.318                     |
| Resíduo                      | 25                            | 0.542                     |

## 6. Zinco

| <b>Causa da<br/>Variação</b> | <b>Graus de<br/>Liberdade</b> | <b>Quadrado<br/>Médio</b> |
|------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| Tratamentos                  | 5                             | 1.783                     |
| Repetição                    | 5                             | 18.227                    |
| Resíduo                      | 25                            | 2.217                     |

## 7. Cobre

| <b>Causa da Variação</b> | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Quadrado Médio</b> |
|--------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Tratamentos              | 5                         | 1.352                 |
| Repetição                | 5                         | 2.498                 |
| Resíduo                  | 25                        | 2.577                 |

## 8. Manganês

| <b>Causa da Variação</b> | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Quadrado Médio</b> |
|--------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Tratamentos              | 5                         | 132.260               |
| Repetição                | 5                         | 511.610               |
| Resíduo                  | 25                        | 54.030                |

## 9. Ferro

| <b>Causa da Variação</b> | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Quadrado Médio</b> |
|--------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Tratamentos              | 5                         | 76.109                |
| Repetição                | 5                         | 285.207               |
| Resíduo                  | 25                        | 101.397               |

## 10. Boro

| <b>Causa da Variação</b> | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Quadrado Médio</b> |
|--------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Tratamentos              | 5                         | 56.515                |
| Repetição                | 5                         | 196.909               |
| Resíduo                  | 25                        | 49.025                |

## ANEXO 5 - TEORES DE METAIS PESADOS (mg.kg<sup>-1</sup>) DETECTADOS EM FRUTOS DE MAÇÃ COLETADOS EM POMAR DE QUATRO ANOS.

### 1. Cádmio

| <b>Causa da Variação</b> | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Quadrado Médio</b> |
|--------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Tratamentos              | 5                         | 0.000003467           |
| Repetição                | 5                         | 0.000000561           |
| Resíduo                  | 25                        | 0.000001265           |

### 2. Cromo

| <b>Causa da Variação</b> | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Quadrado Médio</b> |
|--------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Tratamentos              | 5                         | 0.00000396            |
| Repetição                | 5                         | 0.0000217             |
| Resíduo                  | 25                        | 0.00000808            |

### 3. Níquel

| <b>Causa da Variação</b> | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Quadrado Médio</b> |
|--------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Tratamentos              | 5                         | 0.000139046           |
| Repetição                | 5                         | 0.000025027           |
| Resíduo                  | 25                        | 0.000050026           |

### 4. Chumbo

| <b>Causa da Variação</b> | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Quadrado Médio</b> |
|--------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Tratamentos              | 5                         | 0.000539204           |
| Repetição                | 5                         | 0.000097996           |
| Resíduo                  | 25                        | 0.000203545           |

### 5. Zinco

| <b>Causa da Variação</b> | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Quadrado Médio</b> |
|--------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Tratamentos              | 5                         | 0.144216112           |
| Repetição                | 5                         | 0.093349445           |
| Resíduo                  | 25                        | 0.208560111           |

### 6. Cobre

| <b>Causa da Variação</b> | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Quadrado Médio</b> |
|--------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Tratamentos              | 5                         | 0.016671111           |
| Repetição                | 5                         | 0.002727555           |
| Resíduo                  | 25                        | 0.013219111           |

ANEXO 6 - ANOVA PARA OS DADOS DE TEORES FOLIARES DE MACRO (g.kg<sup>-1</sup>) E MICRONUTRIENTES (g.kg<sup>-1</sup>), EM MUDAS DE MACIEIRA.

**1. Nitrogênio**

| <b>Causa da Variação</b> | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Quadrado Médio</b> |
|--------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Tratamentos              | 5                         | 4.300                 |
| Repetição                | 4                         | 35.103                |
| Resíduo                  | 20                        | 10.118                |

**2. Fósforo**

| <b>Causa da Variação</b> | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Quadrado Médio</b> |
|--------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Tratamentos              | 5                         | 0.118                 |
| Repetição                | 4                         | 0.071                 |
| Resíduo                  | 20                        | 0.062                 |

**3. Potássio**

| <b>Causa da Variação</b> | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Quadrado Médio</b> |
|--------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Tratamentos              | 5                         | 10.772                |
| Repetição                | 4                         | 11.641                |
| Resíduo                  | 20                        | 6.266                 |

**4. Cálcio**

| <b>Causa da Variação</b> | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Quadrado Médio</b> |
|--------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Tratamentos              | 5                         | 0.095                 |
| Repetição                | 4                         | 0.212                 |
| Resíduo                  | 20                        | 0.101                 |

**5. Magnésio**

| <b>Causa da Variação</b> | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Quadrado Médio</b> |
|--------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Tratamentos              | 5                         | 0.235                 |
| Repetição                | 4                         | 0.765                 |
| Resíduo                  | 20                        | 0.184                 |

**6. Zinco**

| <b>Causa da Variação</b> | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Quadrado Médio</b> |
|--------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Tratamentos              | 5                         | 6.282                 |
| Repetição                | 4                         | 67.040                |

|         |    |       |
|---------|----|-------|
| Resíduo | 20 | 6.374 |
|---------|----|-------|

## 7. Cobre

| <b>Causa da Variação</b> | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Quadrado Médio</b> |
|--------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Tratamentos              | 5                         | 135.559               |
| Repetição                | 4                         | 178.796               |
| Resíduo                  | 20                        | 123.275               |

## 8. Manganês

| <b>Causa da Variação</b> | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Quadrado Médio</b> |
|--------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Tratamentos              | 5                         | 156.402               |
| Repetição                | 4                         | 175.597               |
| Resíduo                  | 20                        | 67.351                |

## 9. Ferro

| <b>Causa da Variação</b> | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Quadrado Médio</b> |
|--------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Tratamentos              | 5                         | 5209.323              |
| Repetição                | 4                         | 3238.237              |
| Resíduo                  | 20                        | 3650.357              |

## 10. Boro

| <b>Causa da Variação</b> | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Quadrado Médio</b> |
|--------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Tratamentos              | 5                         | 110.276               |
| Repetição                | 4                         | 110.502               |
| Resíduo                  | 20                        | 51.427                |





ANEXO 07 - TEORES FOLIARES MÉDIOS, POR TRATAMENTO, DE MACRO E MICRONUTRIENTES, EM FOLHAS COLETADAS

DO POMAR DE MAÇÃ DE QUATRO ANOS.

| Tratamentos | N                                | P       | K          | Ca      | Mg      | Zn                                | Cu      | Mn       | Fe       | B        |
|-------------|----------------------------------|---------|------------|---------|---------|-----------------------------------|---------|----------|----------|----------|
|             | ----- g . kg <sup>-1</sup> ----- |         |            |         |         | ----- mg . kg <sup>-1</sup> ----- |         |          |          |          |
| T1          | 24.960 a                         | 2.298 a | 17.977 ab  | 5.857 a | 4.168 a | 10.450 a                          | 6.700 a | 31.500 a | 28.983 a | 64.467 a |
| T2          | 27.767 a                         | 2.388 a | 18.955 a   | 5.898 a | 3.690 a | 10.850 a                          | 6.683 a | 30.867 a | 24.600 a | 68.167 a |
| T3          | 30.900 a                         | 2.117 a | 17.102 abc | 5.545 a | 3.962 a | 9.500 a                           | 7.733 a | 30.350 a | 26.583 a | 61.550 a |
| T4          | 28.303 a                         | 2.082 a | 16.702 abc | 5.960 a | 4.273 a | 10.450 a                          | 7.750 a | 33.367 a | 25.950 a | 60.683 a |
| T5          | 26.523 a                         | 2.120 a | 15.818 bc  | 6.210 a | 4.168 a | 10.233 a                          | 7.317 a | 41.900 a | 32.517 a | 61.183 a |
| T6          | 24.900 a                         | 2.110 a | 14.892 c   | 6.565 a | 4.355 a | 11.067 a                          | 7.100 a | 38.350 a | 33.167 a | 66.250 a |
| C.V.        | 22.15                            | 9.33    | 10.36      | 29.28   | 17.94   | 14.28                             | 22.25   | 21.37    | 35.17    | 10.99    |

**OBS.:** Médias seguidas de mesma letra dentro da mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 99% de probabilidade de acordo com o teste de Tukey.

ANEXO 08 - TEORES FOLIARES MÉDIOS, POR TRATAMENTO, DE MACRO E MICRONUTRIENTES, EM FOLHAS COLETADAS

DAS MUDAS DE MAÇÃ

| Tratamentos | N                                | P       | K        | Ca      | Mg      | Zn                                | Cu       | Mn       | Fe       | B       |
|-------------|----------------------------------|---------|----------|---------|---------|-----------------------------------|----------|----------|----------|---------|
|             | ----- g . kg <sup>-1</sup> ----- |         |          |         |         | ----- mg . kg <sup>-1</sup> ----- |          |          |          |         |
| <b>T1</b>   | 24.600 a                         | 1.034 a | 14.340 a | 3.654 a | 4.080 a | 14.000 a                          | 18.260 a | 58.280 a | 203.28 a | 43.62 a |
| <b>T2</b>   | 22.640 a                         | 1.032 a | 13.020 a | 3.852 a | 3.826 a | 17.020 a                          | 31.280 a | 55.760 a | 211.28 a | 43.64 a |



|             |          |         |          |         |         |          |          |          |          |         |
|-------------|----------|---------|----------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|---------|
| <b>T3</b>   | 23.940 a | 1.228 a | 15.260 a | 3.454 a | 3.752 a | 14.500 a | 22.000 a | 65.020 a | 165.54 a | 36.08 a |
| <b>T4</b>   | 25.060 a | 1.412 a | 12.720 a | 3.578 a | 4.054 a | 14.760 a | 18.280 a | 53.540 a | 152.52 a | 32.64 a |
| <b>T5</b>   | 23.540 a | 1.300 a | 13.000 a | 3.752 a | 4.228 a | 16.020 a | 27.540 a | 56.520 a | 205.78 a | 36.92 a |
| <b>T6</b>   | 23.000 a | 1.112 a | 10.980 a | 3.664 a | 4.302 a | 14.780 a | 22.020 a | 48.020 a | 134.52 a | 34.34 a |
| <b>C.V.</b> | 13.37    | 20.96   | 18.94    | 8.70    | 10.63   | 16.63    | 47.80    | 14.61    | 33.79    | 18.93   |

**OBS.:** Médias seguidas de mesma letra dentro da mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 99% de probabilidade de acordo com o teste de Tukey.

ANEXO 09 - TEORES MÉDIOS DE METAIS PESADOS, POR TRATAMENTO, CONTIDOS NOS FRUTOS DE MAÇÃ  
COLETADOS NO  
POMAR DE QUATRO ANOS.

| <b>Tratamentos</b> | <b>Cd</b>                         | <b>Cr</b> | <b>Zn</b> | <b>Ni</b> | <b>Pb</b> | <b>Cu</b> |
|--------------------|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                    | ----- mg . kg <sup>-1</sup> ----- |           |           |           |           |           |
| <b>T1</b>          | 0.0198 a                          | 0.0495 a  | 0.8700 a  | 0.1238 a  | 0.2476 a  | 0.4767 a  |
| <b>T2</b>          | 0.0199 a                          | 0.0498 a  | 0.6400 a  | 0.1247 a  | 0.2493 a  | 0.5450 a  |
| <b>T3</b>          | 0.0197 a                          | 0.0494 a  | 1.0083 a  | 0.1235 a  | 0.2470 a  | 0.5950 a  |
| <b>T4</b>          | 0.0192 a                          | 0.0480 a  | 0.5867 a  | 0.1200 a  | 0.2402 a  | 0.5050 a  |
| <b>T5</b>          | 0.0193 a                          | 0.0485 a  | 0.8067 a  | 0.1212 a  | 0.2425 a  | 0.5567 a  |
| <b>T6</b>          | 0.0202 a                          | 0.0501 a  | 0.7300 a  | 0.1253 a  | 0.2506 a  | 0.4550 a  |
| <b>C.V.</b>        |                                   |           |           |           |           |           |

**OBS.:** Médias seguidas de mesma letra dentro da mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 99% de probabilidade de acordo com o teste de Tukey.

